Zeitschrift
Z 1530

Digitized by the Internet Archive
in 2020 with funding from
Wellcome Library

https://archive.org/details/s2495id1379956

ZEITSCHRIFT

FÜR

RATIONELLE MEDICIN.

HERAUSGEGEBEN

VON

Dr. **J. HENLE**,
Professor der Anatomie in Göttingen,

UND

Dr. **C. v. PFEUFER**,
Königl. Bair. Ober-Medicinalrath und Professor der speciellen Pathologie und Therapie und der medicinischen Klinik in München.

MED.-KLIN. INSTITUT DER K. UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Dritte Reihe. XII. Band.

Mit acht Tafeln.

LEIPZIG & HEIDELBERG.
C. F. WINTER'SCHE VERLAGSHANDLUNG.
1861.

7311

WELLCOME INSTITUTE LIBRARY
Coll. welMOmec
Call No. ser WI /113

Inhalt des zwölften Bandes.

Erstes und zweites Heft.

Seite

Das Gewebe der Hornhaut im normalen und pathologischen Zustande. Von *Th. Langhans*. (Hierzu Tafel I. u. II.) 1

Untersuchungen über die Verdauung der Eiweisskörper. Nr. IV. Von *G. Meissner* und *C. Büttner* 46

Wirkungen des Ammoniak auf die Nervenstämme. Von Prof. Dr. *E. Harless*. (Hierzu Tafel III.) 68

Ueber die Verbindung der Muskelfasern mit ihren Ansatzpunkten. Von Dr. *August Weismann* in Frankfurt a. M. (Hierzu Tafel IV—VI.) 126

Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung. Von Dr. *Wilhelm Wundt*. Vierte Abtheilung. Ueber das Sehen mit zwei Augen 145

Drittes Heft.

Ueber das elektrische Verhalten der Oberfläche des menschlichen Körpers. Von *G. Meissner* 263

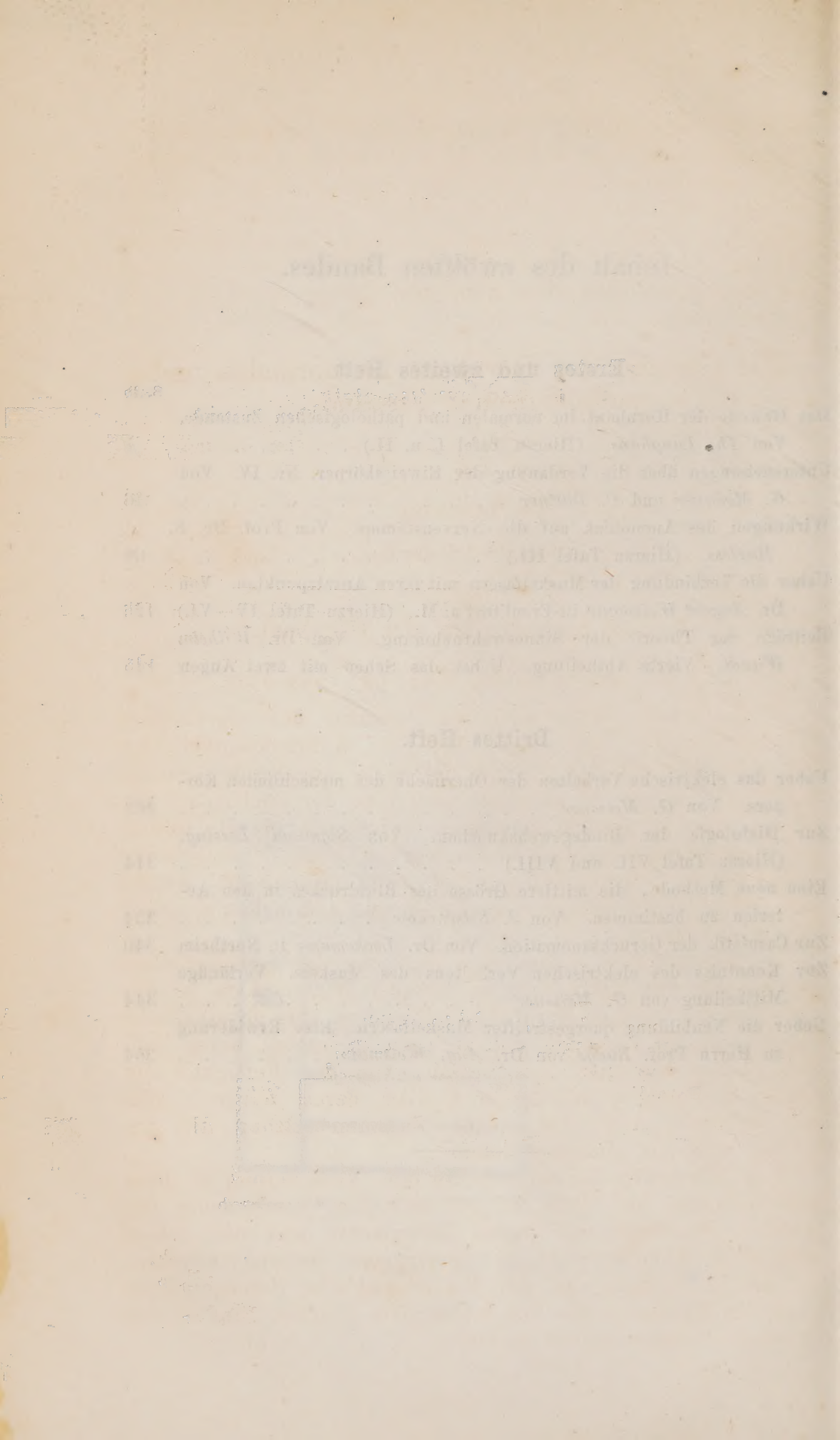
Zur Histologie der Bindegewebsknochen. Von *Sigmund Lessing*. (Hierzu Tafel VII. und VIII.) 314

Eine neue Methode, die mittlere Grösse des Blutdruckes in den Arterien zu bestimmen. Von *J. Setschenow* 334

Zur Casuistik der Geruchsanomalien. Von Dr. *Lockemann* in Northeim 340

Zur Kenntniss des elektrischen Verhaltens des Muskels. Vorläufige Mittheilung von *G. Meissner* 344

Ueber die Neubildung quergestreifter Muskelfasern. Eine Erwiderung an Herrn Prof. *Budge* von Dr. *Aug. Weismann* 354



Das Gewebe der Hornhaut im normalen und pathologischen Zustande.

Von

Th. Langhans.

(Hierzu Tafel I und II.)

I. Der normale Bau der Hornhaut.

1) Das eigentliche Hornhautgewebe.

Obgleich die Frage nach der Structur des eigentlichen Hornhautgewebes seit langer Zeit die Aufmerksamkeit der Mikroskopiker auf sich gezogen und viele eingehende Arbeiten veranlasst hat, so ist sie doch noch eine der streitigsten der ganzen mikroskopischen Anatomie. Nicht als ob die Bilder, welche das Mikroskop dem Beobachter darbietet, der schwierige Punkt wären, vielmehr sind es die Präparationsmethoden, welche ganz verschiedene Ansichten entstehen und sich neben einander behaupten liessen.

Es war natürlich, dass man sich vor der systematischen Anwendung des Mikroskops in unserer Wissenschaft an das Aussehen der frischen Hornhaut hielt und an ihre physikalische Eigenschaft, in Lamellen sich zerlegen zu lassen, deren Zahl und Dicke, wie man bald einsah, von der Fertigkeit der einzelnen Forscher abhing und über deren feinere, dem unbewaffneten Auge entgehende Zusammensetzung die Ansichten weit aus einander liefen.

Das Mikroskop jedoch brachte eine Veränderung in diese Anschauungen und jetzt möchte sich die Untersuchung der frischen Hornhaut mit jenem Instrumente und die darauf gegründete Theorie wohl der geringsten Geltung erfreuen. Sie ist im Anklang an die Reichert'sche Homogeneitätslehre des Bindegewebes und unter dem directen Einfluss der

Virchow'schen Identitätstheorie der Bindegewebs-, Knorpel- und Knochenkörperchen von Strube*) zuerst ausgesprochen und am eingehendsten von His**), freilich schon mit bedeutenden Modificationen, vertheidigt worden. Daraus, dass die frische Hornhaut unter dem Mikroskop nicht die geringste Spur von einem Zerfallen in Fasern oder Lamellen zeigt, folgt nach ihrer Meinung, dass sie aus einem gleichförmigen, homogenen Gewebe bestehe mit der Fähigkeit zu einem fibrillären oder lamellösen Zerfall, eine Eigenschaft, welche schon bei His die Gleichförmigkeit fast ganz zur Seite drängt. Jetzt hat selbst Virchow***) die Homogeneitätslehre verlassen und da sie auch in keinem der bedeutenderen Handbücher der Histologie einen Vertreter gefunden hat, so kann sie wohl nur noch ein historisches Interesse beanspruchen. Der Grund dazu liegt ohne Zweifel in der sehr weichen Beschaffenheit der frischen Hornhaut, welche es auch für den geübtesten Mikroskopiker unmöglich macht, selbst mit dem schärfsten Messer so dünne Schnitte von ihr ohne Verschiebung ihrer Elemente zu verfertigen, dass er sich für berechtigt halten könnte, hieraus einen sicheren Schluss auf ihre Structur zu ziehen. Es gelang mir nicht — und ich glaube, darin manchen Leidensgefährten zu haben — mittelst eines Scalpells oder Rasirmessers oder eines Doppelmessers das von His beschriebene Bild zu erhalten; an senkrechten, mit dem Doppelmesser verfertigten Schnitten konnte ich nur eine dunkle, fein granulirte Masse sehen, in welcher zerstreut die Hornhautkörperchen lagen in der Gestalt von Kügelchen, 0,003‴ im Durchmesser, an denen eine besondere Membran nicht zu unterscheiden war; Essigsäure hellte das Gewebe auf und machte es streifig; die Stützfasern traten hervor, und die Kügelchen stachen jetzt mehr gegen das durchsichtigere Gewebe ab, sie wurden beim Verschieben der oberen Fläche des Präparates gegen die untere zum Theil blasser, doch nur in geringem Grade, und demgemäss etwas breiter. Die Ausläufer, welche ich vorher nicht erkennen konnte, erschienen nun ebenfalls und blieben beim Verschieben des Deckgläschens sichtbar. Diese Beschreibung gilt für das Kalbsauge; an dem Ochsenauge sah ich dieselben Verhältnisse, nur schienen die Hornhautkörperchen mehr plattgedrückt zu sein. Ich will und kann auf diese Untersuchung kein Gewicht legen; ich muss

*) Der normale Bau der Cornea. Würzburg 1851.

**) Hauptsächlich in: Beiträge zur normalen und pathologischen Histologie der Hornhaut. Basel 1856.

***) Cellularpathologie.

dies wenig erfreuliche Resultat zum Theil mir zuschreiben, glaube aber nicht, dass auch His viel feinere und schönere Schnitte erhalten hat. Doch, wäre auch letzteres der Fall, so liegt gegen deren Beweiskraft noch ein anderer Grund in der ungemeinen Durchsichtigkeit und der Durchtränkung des Gewebes mit Flüssigkeit, wodurch alle Structurverhältnisse desselben verschwinden können, wie man bei Behandlung eines Schnitts einer getrockneten Hornhaut mit Essigsäure leicht sehen kann.

Neben dieser Lehre stehen sich nun hauptsächlich zwei Parteien seit fast acht Jahren einander gegenüber, ohne dass die eine oder andere in irgend einem Punkte ihrer Ansicht gewichen wäre. Die eine, kleinere, Henle an der Spitze, erklärt sich für getrocknete Präparate, die andere, grössere, mit Virchow, Kölliker*), Frey**), Leydig***) — auch His, dessen Figuren in Ecker's Icones physiologicae †) übergegangen sind, kann schon zu ihnen gerechnet werden — stützt sich hauptsächlich auf Holzessigpräparate. Neben diesen hat in neuester Zeit Rollet††) die Maceration in einer Mischung von übermangansaurem Kali mit Alaun zur Erforschung der Structur der Hornhaut angewandt und lässt sich durch das Bild, welches 2‴ breite, mit dieser Mischung behandelte Hornhautstreifen bei zwanzigfacher Vergrösserung darbieten, zu dem Schlusse verleiten, dass sie aus glatten, einander durchkreuzenden Fasern bestehe. Allein wir werden sehen, dass diese Ansicht weder für noch gegen eine jener beiden andern spricht, auf deren nähere Betrachtung wir nun eingehen wollen.

His, welcher abgesehen von der bei ihm in den Hintergrund tretenden Homogeneitätslehre die Ansicht derer, die sich auf Holzessigpräparate stützen, am schärfsten vertritt, charakterisirt seine Faserbündel — so wollen wir mit Kölliker seine Lamellen im Gegensatze zu den Henle'schen nennen — als bandartige, wieder aus Fasern zusammengesetzte Streifen von unbestimmter Länge, von einer Dicke von 0,002 bis 0,004‴ und einer zwischen 0,04 bis 0,12‴ wechselnden Breite; sie sind flach übereinander geschichtet, so dass sie unter wenig geneigten Winkeln sich überlagern und durchflechten, zuweilen zwei gleichgerichtete von ihnen sich an-

*) Gewebelehre. 3. Aufl. S. 616 ff.
**) Histologie und Histochemie. S. 281 ff.
***) Histologie. S. 221.
†) Tab. XVIII, Fig. 13—15.
††) Ueber die Substantia propria corneae. 1858.

einander lagern oder durchkreuzen. Als eine Hauptstütze dieser Ansicht soll die Untersuchung mit dem polarisirten Lichte dienen, welche sich darauf gründet, dass nach Boeck alle faserigen organischen Körper das Licht in der Weise doppelt brechen, dass die Faserrichtung des Körpers mit seiner optischen Axe zusammenfällt: nach diesem Boeck'schen Gesetze wird jene Ansicht von dem Bau der Hornhaut durch die Beobachtung insofern bestätigt, als die Faserbündel auf einem senkrechten Schnitt, dessen Längsaxe mit den gekreuzten Prismen einen Winkel von ca. 45^0 bildet, abwechselnd hell und dunkel erscheinen, wodurch Längs- und Querschnitte der Faserbündel sich unterscheiden sollen, „und zwar bilden die hell erscheinenden Streifen (Längsschnitte) ein flach gedrücktes Netzwerk, dessen Maschen (Querschnitte), gleich als ob es Lücken wären, dunkel erscheinen."

Diesen Anatomen gegenüber hat Henle bis jetzt an seiner im Jahre 1853*) ausgesprochenen Ansicht festgehalten, welche auf die Untersuchung getrockneter Hornhäute gegründet ist und später in Dornblüth**) einen Vertheidiger in umfassendem Massstabe gefunden hat. Nach ihr besteht die Hornhaut aus 240—300 feinen, homogen erscheinenden Lamellen von 0,002‴ Dicke, welche sämmtlich der Oberfläche parallel laufen und wahrscheinlich alle mit zugeschärftem Rande untereinander endigen; sie sind mit feinstem Kitt aneinander befestigt, der jedoch an einzelnen Stellen fehlt und so Lücken erzeugt, auf die wir erst später zurückkommen. Für die Richtigkeit dieser Ansicht spricht, dass die Kante, in welcher zwei Flächen eines etwas dicken Schnittes zusammenstossen, sich gerade wie die senkrechte Kante eines Stosses von Papierbogen ausnimmt; für sie spricht ferner bei Schnitten, die mit sehr scharfem Messer und mit grosser Vorsicht angefertigt sind, die Abwesenheit aller faserartigen Gebilde, so dass die Fasern, aus welchen man vor Henle die Hornhaut zusammengesetzt sich vorstellte, auf Rechnung einer Kräuselung einzelner Lamellen kämen; für diese Ansicht spricht zuletzt, dass man an jeder Hornhaut auf jedem Schnitte, er mag in jeder beliebigen Richtung geführt sein, immer dasselbe Bild erhält; das letztere wäre wohl nicht möglich, wenn man etwa die Lamellengrenzen den Ausläufern der Hornhautkörperchen zuschreiben wollte oder mit den früheren Anatomen die Elemente der Hornhaut als Fasern ansähe.

*) Jahresbericht für 1852.

**) Ueber den Bau der Cornea oculi. Zeitschrift für rat. Medicin. VII, 212; VIII, 156.

Vergleichen wir diese Ansicht mit der vorhin erörterten von His, so erweist sich als gemeinsame Grundlage beider eine Streifung von äusserster Feinheit, nur bei mehr als hundertmaliger Vergrösserung sichtbar, deren einzelne Linien nur 0,002‴ von einander abstehen. Fälschlich hat His seine Faserbündel mit den Lamellen Bowmans identificirt und den 300 Henle'schen gegenüber gestellt. Nach Bowman besteht nämlich die Hornhaut aus ca. 60 Lamellen, jede etwa 0,01‴ dick, während doch His selbst die Dicke seiner Faserbündel richtig auf 0,002—0,004‴ angab, diese also in der der Oberfläche parallelen Streifung völlig mit den Henle-schen übereinstimmen. Hieraus ergiebt sich aber auch, dass diese Streifung nicht mit der von Rollet bei zwanzigmaliger Vergrösserung gesehenen zusammenfallen kann, dass vielmehr die Rollet'schen Fasern wahrscheinlich, wie Henle vermuthete, mehrere Lamellen umfassen.

Der Unterschied zwischen beiden Ansichten dagegen liegt darin, dass Henle diese an getrockneten Präparaten allein sichtbare Streifung als den letzten, mit dem Mikroskope noch bemerkbaren Ausdruck der Structur der Hornhaut ansieht, diese also nach ihm aus Lamellen zusammengesetzt ist, welche sich über einen grossen, makroskopisch noch sehr bedeutenden Theil derselben erstrecken; die Faserbündel seiner Gegner dagegen stellen makroskopisch nur sehr feine Streifen von kaum 0,1‴ Breite dar, oder mit andern Worten: die Henle-schen Lamellen werden, wenn ich mich so ausdrücken darf, von His wieder in feinere Fasern zerlegt, welche, aber sämmtlich gleichwerthig, die Hornhaut zusammensetzen, ohne dass zuerst eine Anzahl von ihnen zu den Lamellen zusammenträte und dann erst diese als gröbere Elemente die Hornhaut bildeten.

Betrachtet man getrocknete und in Holzessig erhärtete Hornhäute unter dem Mikroskope, so muss man eingestehen, dass sich gegen beide Ansichten, insofern sie aus diesen Präparaten erschlossen sind, Nichts einwenden lässt; dass der Streit also lediglich um die Präparationsmethoden geführt werden muss.

His*) scheint der Ansicht zu sein, man müsse zur mikroskopischen Untersuchung zumal der Hornhaut alle möglichen Präparationsmethoden anwenden; vorher sei man nicht berechtigt, einen Schluss auf ihre Struktur zu ziehen. Jedoch ist hauptsächlich die Güte der einzelnen Methoden das Maass-

*) Einleitung. S. VIII.

gebende; und wenn man sich in zweifelhaften Fällen aus triftigen Gründen für Eine entschieden hat, dann ist nach dieser der Bau des Gewebes als der wahrscheinlichste festzustellen.

Auf wie schlüpfrigem Boden man aber bei dieser Beurtheilung der einzelnen Methoden steht, das zeigen gleich die ganz verschiedenen Vorwürfe, die man dem Trocknen der Hornhaut gemacht hat. Abgesehen von der wohl satirisch gemeinten Mahnung Hyrtl's*), Abdrücke der sägeförmig wirkenden Messerklinge nicht für den Ausdruck lamellösen Baues zu halten, macht His dem Trocknen den Vorwurf, dass durch die Wasserentziehung und entsprechende Schrumpfung der Hornhaut diese nothwendig Risse bekommen müsse, wie das ja bei jedem eintrocknenden Leim- oder Eiweisstropfen der Fall sei. Dieser Einwurf sollte, wie es scheint, gegen die feine parallele Streifung getrockneter Präparate gerichtet sein und entsprang aus der Meinung, dass die Faserbündel den Bowman'schen Lamellen identisch und also ungefähr 5 bis 6 mal so dick wie die Henle'schen seien. Da das letztere aber, wie wir oben sahen, ein Missverständniss ist, so fällt dieser Tadel von selbst. Wäre jedoch etwas Richtiges an ihm, so würden die Risse doch da zu erwarten sein, wo schon von Natur eine Spaltbarkeit besteht, also nach His an den Grenzen der Faserbündel. Während so His dem Trocknen vorwirft, es zerreisse, d. h. lockere die Hornhaut, behauptet ihm gegenüber Classen**), es backe die Fasern, welche nach seiner Meinung die Hornhaut bilden, zu den Henle-schen Lamellen zusammen, d. h. es befestige den Zusammenhang der Hornhautelemente. Dieser Meinung ist schon von Henle***) entgegnet worden, dass es schwer einzusehen wäre, wie ein an sich rissiges Gewebe, wie die Hornhaut, durch das Trocknen zu einem homogenen Ganzen zusammenbacken sollte; dass dann ebenfalls, wenn das Fehlen der elastischen Scheiden die Ursache des Zusammenbackens der einzelnen Fasern wäre, die einzelnen Bindegewebs- und Muskelfasern verschwinden müssten. Weit triftiger erscheinen die Gründe, welche gegen die Vortrefflichkeit des Holzessigs sprechen†). Worin eigentlich die vielgerühmte Güte dieses Mittels zur Erforschung der Hornhautstructur besteht, hören wir freilich von His nicht; er sagt blos, dass eine darin erhärtete Horn-

*) Topographische Anatomie 1857. I, 169.
**) Untersuchungen über die Histologie der Hornhaut. 1858.
***) Jahresbericht für 1858.
†) Jahresbericht für 1856. S. 97 ff.

haut, nachdem sie also mehrere Wochen in ihm gelegen, sich darin nicht weiter verändert. Aber schon beim oberflächlichen Betrachten eines für die mikroskopische Beobachtung fertigen Schnittes einer getrockneten und eines solchen einer in Holzessig erhärteten Hornhaut fällt der bedeutende Unterschied zwischen beiden auf; der eine, im Wasser zu seinem früheren Volum aufgequollen, durchsichtig, weich, von derselben Beschaffenheit wie die frische Hornhaut, dabei von einer sehr geringen Dicke; der andere dagegen um das Vier- bis Fünffache seines früheren Volums und eher noch mehr aufgequollen, hart, undurchsichtig, dem ersten Schnitt gegenüber von einer sehr bedeutenden Dicke: sollte da ein unbefangener Beobachter Bedenken tragen, auf welche Seite er sich zu stellen hätte. Bei einer eingehenderen Kritik muss man noch besonderes Gewicht auf die Dicke der einzelnen Schnitte und die bedeutende Aufquellung legen, welche Hornhäute in Holzessig erleiden. Letztere kann, wie His*) selbst zugiebt, Verschiebung der Theile verursachen; auch können wir nicht wissen, ob nicht verschiedene Umstände an verschiedenen Orten ungleich einwirken und dadurch die frühere sehr feine Anordnung der Elemente noch mehr verschoben wird. Von grossem Einfluss auf die Beurtheilung mikroskopischer Bilder ist aus leicht begreiflichen Gründen, mit denen auch His einverstanden ist, die Dicke des Schnittes. Je dicker derselbe, desto leichter die Möglichkeit, dass das Deckgläschen die Theile verschiebt und der Schein anastomosirender Linien entsteht, wo letztere eigentlich in verschiedenen Ebenen laufen. Je dünner der Schnitt, desto geringer der schädliche Einfluss des Deckgläschens, desto durchsichtiger und übersichtlicher das Ganze. Und ein Hauptvortheil des Trocknens besteht in dieser Erhärtung des Gewebes, welche es möglich macht, mit grosser Leichtigkeit ganz feine Spänchen, selbst noch sehr feine Schnitte von bedeutender Länge durch die ganze Dicke der Hornhaut zu erhalten. Diese Eigenschaft haben Holzessigpräparate nicht; die starke Anschwellung erschwert es sehr, längere Schnitte durch ihre ganze Dicke anzufertigen; sie sind nicht in dem Grade erhärtet, wie trockene Hornhäute; die das Gewebe durchtränkende Flüssigkeit macht dieses selbst für das schärfste Messer etwas nachgiebig, was die feinsten Schnitte unmöglich macht.

Besonders überzeugend aber für die Anhänger der His-schen Lehre waren dessen Untersuchungen mit dem polarisirten

*) Seite 2.

Lichte, welche selbst für den Ungläubigsten die Existenz sich kreuzender Faserbündel bewiesen. Sie sollten dem Auge unmittelbar entgehende Structurunterschiede noch entdecken, da sie „in manchen Fällen die einzig entscheidende Antwort über die moleculäre Structur eines Theils zu geben vermögen.“ Eben diese Feinheit der Untersuchungen aber, diese Feinheit der Structurunterschiede, die das polarisirte Licht schon zur Anschauung bringt, machen es für die Untersuchung der Hornhaut und sehr vieler anderer thierischer Gewebe unbrauchbar. Wie oft kommt es doch schon vor, dass bei der spröden Beschaffenheit der getrockneten Hornhaut die Lamellen durch das Messer unkenntlich werden, und mit unseren Hilfsmitteln ist es ganz und gar unmöglich, Schnitte von getrockneten oder in Holzessig erhärteten Hornhäuten ohne Verschiebung der Molecüle anzufertigen, und die letztere hat doch schon nach His eigenen Worten eine verschiedene Brechbarkeit des Lichts zur Folge. Daher kommt es auch, dass die His'schen Untersuchungen mit dem polarisirten Lichte mit seiner Theorie nicht stimmen, ja dass sich aus ihnen gar keine Theorie ableiten lässt. Schon Dornblüth hatte entgegnet, dass bei den His'schen Bildern stets die Streifen überwiegen, obgleich nach dessen eigener Ansicht bei einem auf den vorigen senkrecht geführten Schnitte die Querschnitte an derselben Stelle sich finden müssten, wo vorher die Längsschnitte der Faserbündel. Aus Einer Beobachtung von His würde folgen, dass die Hornhaut aus sich unter rechten Winkeln kreuzenden Faserbündeln bestehe; da His aber immer dasselbe Bild erhält, so weiss ich in der That nicht, welche äusserst complicirte Theorie von dem Bau der Hornhaut er auf diese Untersuchungen gründen wollte. Die His'schen Beobachtungen mit dem polarisirten Lichte widersprechen sich also gänzlich. Wie würde sich auch ein Schnitt ausnehmen, bei dem kein Faserbündel in der Längsaxe oder senkrecht auf diese getroffen ist; und solche Schnitte sind vielleicht nicht unmöglich, da ja die His'schen Faserbündel sich nur selten unter rechten, meistens unter spitzen Winkeln kreuzen. Diese Bemerkungen möchten wohl einige nicht leicht abzuweisende Zweifel gegen die Berechtigung des polarisirten Lichtes an dieser Stelle erwecken.

So muss ich mich, die alten schon lange für und wider beide Ansichten beigebrachten Gründe zusammenfassend und erwägend, für die Existenz der Henle'schen Lamellen erklären. Weiter aber lässt sich fragen, ob diese Lamellen wirklich homogen, ob sie die letzten Elemente der Hornhaut oder ob

sie nicht selbst wieder aus feineren Elementen zusammengesetzt seien. Auf diese Frage führte mich Hr. Prof. Henle selbst, nachdem derselbe an dem entzündeten Auge eines Pferdes die Beobachtung gemacht, dass an Durchschnitten durch die Dicke der Hornhaut, in dem vorderen Theile der letztern, Streifen und Reihen feinster Pünktchen mehrmals so alterniren, als ob je Eine Lamelle streifig, die nächste punktirt erscheine. Die Pünktchen erwiesen sich als Querschnitte der Streifen, woraus von selbst folgte, dass die Streifen Fasern und zwar parallelen Fasern entsprechen, die die Lamellen zusammensetzen, in Einer Lamelle rechtwinklig gegen die Faserung der nächsten gerichtet. Henle war der Meinung, dass die entzündliche Durchtränkung und Auflockerung des Gewebes den Erfolg habe, die Lamellen in die ursprünglichen feinen Fasern zu zerlegen, die durch Aneinanderdrängen und durch die Homogeneität der Zwischensubstanz im Laufe der Entwickelung unkenntlich geworden seien. Ich fand ein Mittel, den Faserbau der Lamellen auch an gesunden Hornhäuten nachzuweisen; es gelingt leicht durch Erhärten in Chromsäure oder doppeltchromsaurem Kali. An Flächenschnitten solcher Präparate sieht man das Gewebe fein gestreift, und zwar kreuzen sich die Streifen der verschiedenen Lamellen unter sehr verschiedenen Winkeln, an senkrechten Schnitten, die sich leider an solchen Präparaten nicht leicht und deutlich erhalten lassen, sind die Lamellen fein granulirt. Ich wundere mich sehr, dass His, der diese Präparationsmethode benutzte, dieses Verhaltens, dessen Beweiskraft schwerlich Jemand ableugnen wird, in seiner grösseren Arbeit gar nicht gedacht hat, während er es in seiner früheren Mittheilung in den Würzburger Verhandlungen, wenn auch nur sehr kurz, erwähnte. Dass die His-Kölliker'schen Fasern oder Bänder der Hornhaut (von der Dicke der Lamellen) mit diesen die Lamellen zusammensetzenden feinsten, den Bindegewebsfibrillen ähnlichen Fasern nichts gemein haben, bedarf kaum der Erwähnung. An getrockneten Hornhäuten sind, wie gesagt, die Fasern gewöhnlich nicht zu sehen, auch nicht nach abwechselndem Behandeln mit Kali und Essigsäure, wodurch bekanntlich Henle den faserigen Bau der Bindegewebsbündel deutlich machte. Selbst bei starker Entzündung konnte ich sie nur an jener Pferdehornhaut deutlich an senkrechten Schnitten bemerken.

Die vollkommene Ebenheit der Lamellen, wie sie der aufgeweichte Durchschnitt der getrockneten Hornhaut zeigt und das Ansehen der entzündeten Pferdehornhaut machen es wahrscheinlich, dass jede Lamelle insofern eine continuirliche und

gleichmässige Faserschichte darstelle, als die Fasern derselben einander parallel und nicht weiter in Bündel abgetheilt verlaufen. Mit dieser Voraussetzung stimmen nun die Flächenschnitte chromsaurer Präparate nicht überein. Ich sah an denselben öfters die feinen Fibrillen in Bündeln, die, wenn auch breiter, als die von His angegebenen Fasern, doch eine im Verhältniss zur Flächenausdehnung der Hornhaut nur sehr geringe Breite hatten und eine geringere Mächtigkeit zu haben schienen, als die Hornhautlamellen. Jedoch bin ich nicht sicher, ob nicht diese Bündel zum Theil Kunstproducte, durch den Schnitt zerstörte oder zerrissene Lamellen waren.

Ueber die Uebergangsstelle der Hornhaut in die Sclerotica habe ich nichts Besonderes hinzuzufügen. Nur will ich des Pigmentes gedenken, welches in dieser Gegend theils als dunkelbraunes in den unteren Schichten des vorderen Epithels an der Endigungsstelle der vorderen elastischen Lamelle, theils als schwarzes im Gewebe der Sclerotica in unregelmässigen, gezackten oder langgestreckten Figuren liegt. Ob dies Zellen sind, kann man nicht unmittelbar entscheiden, denn eine Membran lässt sich an ihnen nicht erkennen. Bei Auflösungsversuchen des Gewebes in einer Mischung von Schwefel- und Salzsäure bemerkte ich, noch ehe die Auflösung beendigt war, das Pigment des aufgelösten Theils zerstreut in und auf dem noch unaufgelösten liegen, ein Versuch, bei dem alles andere Pigment sorgfältig zu entfernen ist. An frischen Schnitten von einer Ochsenhornhaut erhielt ich Figuren, die noch viel weniger nach Zellen aussahen, vielmehr lag das Pigment grossentheils ordnungslos zerstreut in dem Gewebe. Bei dem Erwachsenen scheint mir deshalb das Pigment nicht in Zellen enthalten zu sein. An einer Kalbshornhaut sah ich jedoch deutlich Pigmentzellen und zwar noch im Hornhautgewebe selbst.

2) Die Hornhautkörperchen.

Eine grosse Bedeutung haben in neuerer Zeit die Hornhautkörperchen gewonnen. Von Toynbee entdeckt, wurden sie später von Strube (Virchow) und Henle, am ausführlichsten von His beschrieben. Da sie ganz platte Schüppchen darstellen, welche, an einem senkrechten Schnitte von der Kante gesehen, blos als schmale, dunkle, beim Umlegen des Schnittes breiter und blasser werdende Stäbchen erscheinen, so lassen sie sich nur an Flächenschnitten genau studiren. Für Flächenschnitte aber wirkt nun die Erhärtung durch das Trocknen nachtheilig. Die feinen, spröden Lamellen werfen

sich auf, kräuseln sich und bieten so eine unregelmässig gerunzelte Oberfläche dar, auf der sich nichts erkennen lässt. Nur Einmal konnte ich an einer getrockneten Ochsenhornhaut, die ich vor der Schnittführung ein wenig angefeuchtet hatte, die Körperchen sammt Ausläufersystem erkennen. Man muss daher seine Zuflucht zu besonderen Präparationsmethoden, zum Kochen oder Erhärten in Holzessig oder Chromsäure nehmen.

Die Form der Körperchen ist sehr verschieden und hauptsächlich von den Ausläufern bedingt. Sie lässt sich leicht, wie schon His angiebt, auf ein Oval zurückführen; je nach dem Ansatz der Ausläufer nun und der dadurch entstehenden trichterförmigen Anhänge wird das Körperchen mehr oder minder langgestreckt, oft eckig und zackig. Gegen das Gewebe hin ist es meistens durch einen sehr dunkeln und scharfen Contour abgegrenzt, den Ausdruck einer Membran. Diese umschliesst einen meist sehr blassen und feinkörnigen Inhalt nebst dem Kerne. Der letztere ist plattgedrückt, dunkel und oft scharf contourirt, besonders an gekochten Hornhäuten, weniger an Holzessigpräparaten; seine Form ist rundlich oder langgestreckt, übrigens ebenso veränderlich wie die des Körperchens. Meistens liegt er an allen Seiten vom Inhalt umschlossen, oft auch an einer Seite der Membran dicht an; selten erfüllt er letztere ganz mit vollständiger Verdrängung des Inhalts. Ein bei jungen, wie bei alten Augen keineswegs seltenes Vorkommen, welches man bei Beurtheilung der pathologischen Formen nicht übersehen darf, sind zwei, drei Kerne in einem Körperchen, die sich wohl durch Zerfallen oder Theilung des früheren einfachen gebildet haben. — Nicht weniger verschieden als die Form ist die Grösse des ganzen Körperchens, seine Breite wechselt an gekochten und dadurch geschrumpften Hornhäuten zwischen 0,002 — 0,005‴, seine Länge zwischen 0,005 — 0,008‴; je länger es ist, desto schmaler pflegt es zu sein; doch giebt es auch solche, die in beiden Dimensionen das Maximum erreichen. Noch verschiedener in der Grösse ist der Kern; manchmal das Körperchen ganz ausfüllend, wird er meistens viel kleiner, namentlich wenn mehrere zugleich vorhanden sind. Die Körperchen der Holzessigpräparate sind im Allgemeinen etwas grösser, 0,008 — 0,01‴ lang und von entsprechender Breite; bei Zusatz von Salpetersäure werden sie kleiner und undeutlicher; Kern und Inhalt sind dann von mehr gleichmässiger Färbung und nicht mehr deutlich von einander zu unterscheiden.

Besonders ausgezeichnet sind die Hornhautkörperchen vor allen ihnen analogen Gebilden durch die Ausläufer, die sie

sich einander zusenden. Diese gehen von denselben, meist trichterförmige Anhänge bildend, als feine Fäden unter rechten oder ähnlichen Winkeln und der Längenaxe des Körperchens parallel ab. Da ihrer zwei, drei, auch vier an einer Seite eines Körperchens ihren Ursprung nehmen, so ist ihre gegenseitige Distanz verschieden; an einzelnen Stellen beträgt sie blos 0,0025‴, an andern 0,008 und 0,01‴. Nicht minder verschieden ist ihre Dicke, welche jedoch selten 0,0004‴ übersteigt; viele andere werden bei richtiger Einstellung zu ganz feinen Fäden von kaum messbarer Dicke. Dies gilt nicht blos für gekochte Hornhäute; denn an Holzessigpräparaten sind sie nicht breiter und wegen der Undurchsichtigkeit des Gewebes eher undeutlicher. An allen Stellen ihres Verlaufs nicht gleich breit, haben sie oft kleine Anschwellungen besonders an ihren Kreuzungsstellen, manchmal auf längere Strecken, und sind hier meist dunkler.

Ueber die Lage der Körperchen zu einander eine bestimmte Regel aufzustellen, ist unmöglich; sie sind nicht in der von His beschriebenen Gliederung angeordnet und nur selten in parallelen Reihen, wie Classen behauptet. Daher kommt es, dass sämmtliche unter scharf ausgeprägten Winkeln sich durchkreuzende Ausläufer ein reichliches, oft sehr dichtes, durch eckige und spitze Formen ausgezeichnetes Netz bilden. Die Ausläufer verbinden zum Theil nur die benachbarten Körperchen; zum Theil aber durchsetzen sie, ohne mit einem Körperchen in Verbindung zu treten, das Netz der andern auf lange Strecken hin. Classen sieht auch Ausläufer im Gewebe frei endigen; da sie jedoch bei ihrer Feinheit oft dem Auge entgehen, und nur ihre dunkleren Anschwellungen als reihenweise geordnete Pünktchen sich darbieten, so ist dies wohl nicht sicher zu behaupten.

Durch ihre Form hervorstechend sind die Körperchen am Hornhautrande. Sie sind langgestreckt, 0,008‴ lang und 0,002‴ breit; die oberflächlicheren, welche sich wegen der unregelmässigen Anordnung der Lamellen in dieser Gegend nicht gut studiren lassen, scheinen etwas dicker zu sein, als die tieferen. Die Ausläufer sind hier unregelmässiger, als in der übrigen Hornhaut, und durchsetzen in den oberflächlichen Lagen häufiger die Lamellen, um die Systeme der Körperchen und Ausläufer der verschiedenen Schichten zu verbinden; in der Tiefe kommt dies sehr selten, an der Descemet'schen Haut vielleicht gar nicht vor. Die gebogenen Ausläufer, welche His aus den oberflächlichen Schichten Tab. I, 6 abbildet, sind wohl Capillarschlingen.

Die Isolirung der Hornhautkörperchen sammt dem Ausläufernetz gelingt nach His' Angabe durch eine Mischung von Schwefel- und Salzsäure oder auch blos durch eine der beiden Säuren leicht; doch löst sich das Gewebe nach meinen Untersuchungen nicht in wenigen Stunden vollständig auf, wie jener behauptet, sondern erst in ein bis zwei Tagen. Die Hornhautkörperchen schwimmen dann mit den meist abgebrochenen Ausläufern frei in der Flüssigkeit umher. Durch Salpetersäure konnte ich sie nicht isolirt erhalten; sie treten jedoch dadurch schärfer hervor, da sie selbst gelb gefärbt werden und das Gewebe an Durchsichtigkeit gewinnt. Diese Thatsachen beweisen wenigstens eine von der des Gewebes verschiedene chemische Zusammensetzung.

Das Verhalten der Hornhautkörperchen zu den Lamellen ist sehr bestritten; gewiss ist nur der Punkt, dass sie zwischen den Lamellen liegen. Allein während Henle durch den fehlenden Kitt der Lamellen erzeugte Lücken annimmt, die zum Theil leer sein, zum Theil die Körperchen umschliessen sollen, stellen Virchow und seine Anhänger die Existenz der Lücken in Abrede und beanspruchen einen Theil von ihnen für die Hornhautkörperchen, den andern erklären sie für Kunstproducte. Was das Letztere anlangt, so werden die Lamellen allerdings meist erst durch Druck auf das Deckgläschen zum Auseinanderweichen gezwungen; allein die grosse Regelmässigkeit des Vorkommens und der Bildung der so entstehenden Lücken, der Umstand, dass diese sich bei weiter fortgesetztem Druck nicht mehr vergrössern, sondern dass eher die Lamellen zerreissen, lassen sie doch als präformirt erscheinen. Auch Strube giebt Hohlräume ohne Körperchen zu; er erklärt sie freilich für atrophische Zellen und will an ihnen bei einer staphylomatösen Cornea eine doppelte Wandung erkannt haben, was wohl sehr schwierig ist.

Noch grösseres Gewicht hat man auf die Lücken gelegt, in denen die Körperchen liegen. Dass die Lamellen, um die letzteren zu umschliessen, auseinander weichen und so Lücken bilden müssen, ist klar; es handelt sich also darum, ob diese Lücken ganz von jenen Körperchen ausgefüllt werden oder nicht. Zu Gunsten der Verneinung dieser Frage hat Classen die Beobachtung angeführt, dass bei schiefer Beleuchtung der Schatten an der dem einfallenden Lichte zugekehrten Seite sich finde. Ferner sieht man oft bei einem gelinden Drucke auf Schnitte von getrockneten Hornhäuten die Lücken aufgehen und die Körperchen mit der einen Seite an den Lamellen, mit der andern frei liegen, sowohl in der Mitte des

Schnittes, als auch an dessen Rande; dies spricht dafür, dass die Membran der Körperchen keinenfalls fest den Lamellen anliegt. Aus der Bejahung jener Frage hat man oft den Schluss gezogen, dass auch bei pathologischen Veränderungen Alles, was zwischen den Lamellen liege, in den Körperchen liegen müsse. Indess ist sicherlich dieser Schluss ebenso wenig zwingend, als aus der Verneinung die Consequenz entspringt, dass nun alle pathologischen Producte ausserhalb der Körperchen liegen müssten.

Von viel bedeutenderem Interesse, vielfach aufgeworfen und verschieden beantwortet ist die Frage, ob die Ausläufer mit den Körperchen ein zusammenhängendes, Flüssigkeit leitendes Röhrensystem sind. Classen sieht häufig die Rissenden und Durchschnitte der Ausläufer gewölbt und schliesst daraus auf ihre Solidität*). Er fand ferner, dass bei tagelangem Behandeln mit Carmin die Körperchen allerdings deutlicher sind, weil das Gewebe durchsichtiger geworden war; allein die Körnchen des Carmins sieht er nie in den Ausläufern und Körperchen, sondern nur an und auf ihnen und den Spalten folgend. Auf der anderen Seite (Virchow und seine Anhänger) hat man sich mit grosser Bestimmtheit für ein Hohlsein der Ausläufer ausgesprochen. Dass die Abbildungen von Kölliker, Frey und Leydig höchstens für die Existenz der Lücken sprechen, davon kann sich jeder nach eigenen Untersuchungen überzeugen. Die Injectionsversuche verwirft für diesen Zweck selbst His. Bei keinem ist der Nachweis geliefert, dass die Injectionsmasse nicht in Lücken, sondern in Zellen liegt; das Gegentheil sogar bei vielen festgestellt. Die von His angeführte Thatsache, dass beim Aetzen der Hornhaut mit Argentum nitricum sich in den Körperchen und Ausläufern feine Körnchen von Silber finden, kann noch andern Deutungen unterliegen. Auch die pathologischen Untersuchungen von His haben kein sicheres Resultat ergeben. Denn trotzdem dass dieser Forscher in dem Theil über die normale Hornhaut das Hohlsein der Ausläufer nur als sehr wahrscheinlich hingestellt hat, ist er bei den pathologischen Untersuchungen schon so vollständig von

*) Durchschnitte der Ausläufer konnte ich an senkrechten Schnitten getrockneter Hornhäute nicht erkennen; nur an einzelnen sah ich besonders in den tieferen Schichten viele schwarze Punkte, welche sich durch die ganze Dicke des Schnittes verfolgen liessen. Doch traten keine selbst an dickeren Schnitten an die Körperchen heran, um an ihnen zu verschwinden; elastische Fasern sind es nicht, da sie beim Behandeln mit Kali verloren gehen.

der Wahrheit dieses Verhältnisses überzeugt, dass kein Beweis mehr für nöthig gefunden wird; wir kommen später hierauf ausführlicher zu sprechen. Ein ebenso wenig sicheres Resultat haben meine pathologischen Untersuchungen ergeben; jedenfalls spielen die Ausläufer bei den pathologischen Veränderungen nicht die ihnen von His zugeschriebene, wichtige Rolle.

Wenn ich mich nun ebenfalls für ein Hohlsein der Ausläufer ausspreche, so geschieht dies nur auf Grund folgender Beobachtungen. Die Hornhautkörperchen und Ausläufer zeigen nämlich an Chromsäurepräparaten ein ganz eigenthümliches Verhalten. An Flächenschnitten solcher Hornhäute sieht man zwischen der faserigen Grundsubstanz die länglichen oder eckigen, oft scharf contourirten Kerne, 0,006—0,008‴ lang und ca. 0,003‴ breit, zwar mit verschiedenen Abweichungen, doch im Ganzen das gleiche Volum bewahrend. Jeder dieser prächtigen Kerne ist in einem sehr umfangreichen, zackigen und mit einem granulirten, sehr blassen Inhalt erfüllten Raume gelegen. Die Abgrenzung des letzteren gegen das Gewebe hin ist nicht immer deutlich und tritt gewöhnlich erst nach längerer Einwirkung des Wassers hervor; sie besteht dann meist in einer dunklen, sehr feinen Linie, welche die Faserrichtung des Gewebes durchkreuzend über diese hinläuft; in solchen Fällen kann man die Fasern der den Raum begrenzenden Lamelle, welche zu beiden Seiten des Kerns zugleich mit diesem im Focus waren, bei Senkung des Tubus deutlich unter jenem sich hinziehen sehen. Doch ist nicht immer ein solcher Raum durch eine besondere Linie begrenzt; nicht selten weichen die Fasern ihn umschliessend auseinander und lassen so eine eigene Membran nicht erkennen; ein solcher Raum erscheint nur als eine Lücke zwischen den Fasern. An Präparaten, die nicht lang in verdünnter Chromsäure gelegen, sieht man in der Regel weiter nichts, und auch das, was man sehen kann, wird oft, wie gesagt, nur nach längerer Einwirkung des Wassers deutlich. Waren jedoch die Hornhäute mehrere Monate der Chromsäure ausgesetzt, so bemerkt man zwischen den jetzt deutlicher begrenzten Räumen Ausläufer sich hinziehen, welche durchschnittlich 0,002—0,003‴ breit, ebenfalls mit einem granulirten, blassen Inhalte erfüllt sind und hinsichtlich der deutlichen Begrenzung dieselben Verhältnisse wie die betreffenden Räume zeigen, die sie untereinander verbinden. Ihre Anzahl ist sehr verschieden; oft sieht man nur zwei von einem Raume in dessen Längsaxe abgehen, oft vier, selten mehr; dass sie Anastomosen unter

einander eingehen und so ein Netz bilden, sieht man nicht häufig, und nur bei einer Schafshornhaut sah ich sie an einzelnen wenigen Stellen sich verzweigen und ein deutliches, reichliches Netz darstellen, welches einige Aehnlichkeit mit dem der gekochten Hornhäute darbot. — Diese ausführliche Darstellung schien mir nöthig wegen des sonderbaren Eindrucks, den ein solches Bild zuerst auf den Beobachter macht, so dass er kaum glauben kann, blos die veränderten Hornhautkörperchen vor sich zu haben. Dass es sich aber doch so verhalte, lässt sich bei genauerer Ueberlegung kaum bezweifeln. Allerdings sind die Räume nicht selten ohne scharfe Begrenzung, und das Ausläufernetz sah ich nur an Einer Hornhaut deutlich; auch gelang es mir nicht, mechanisch oder chemisch diese geräumigen Zellen zu isoliren; beim Zerzupfen sah ich immer nur freie Kerne. Allein die Undeutlichkeit der Körperchen und Ausläufer wird durch ihre Blässe erklärt; oft sieht man zuerst nur eine granulirte Stelle, aus der sich erst bei längerer Wassereinwirkung ein Kern hervorhebt, und an der später selbst die umschliessende Membran noch sichtbar wird. Auch kann man leicht diese Zellen auf ihr ursprüngliches Volum zurückführen und ganz das Bild der Holzessigpräparate hervorbringen; setzt man nämlich Salz- oder Salpetersäure zu, so schrumpft das Gewebe ein, die Fasern werden undeutlich und die früheren Hornhautkörperchen erscheinen wieder mit ihrem vollständigen Ausläufernetz. Diese zu isoliren, gelang mir nicht, selbst bei viertägigem Maceriren in jenen Säuren. Man ist danach zu der Annahme gezwungen, dass die Chromsäure den Inhalt der Körperchen und Ausläufer zum Aufquellen bringe; daher kommt auch deren blasse Färbung und die grosse Zerreisslichkeit der Membran, welche erklärt, dass man oft freie Kerne auf den Präparaten und leere Räume sieht.

Die Theorien, die man an dies Röhrensystem knüpft, zu erörtern, ist hier nicht der Platz. Auf seine Bedeutung und Nothwendigkeit als die Ernährungsflüssigkeit leitendes System namentlich in pathologischen Veränderungen komme ich später zurück.

3) Zur Entwickelungsgeschichte der Hornhaut.

In enger Verbindung mit der Bedeutung, die man den Körperchen und ihren Ausläufern zugeschrieben hat, steht ihre Rolle in der Entwickelungsgeschichte. Nach His haben bei zweizölligen Rindsembryonen die länglichen, in der spar-

samen Intercellularsubstanz schon reihenweise geordneten Körperchen einen kernkörperhaltigen Kern und drei bis vier feine Ausläufer, welche später an Zahl und Dicke zunehmen. Was die wenigen Untersuchungen anlangt, die ich über diesen Gegenstand gemacht habe, so sind diese an Hornhäuten von Rindsfötus angestellt, welche in doppelt chromsaurem Kali erhärtet waren.

In der Hornhaut eines $1^1/_4$ zölligen Fötus waren die Zellen länglich oder rundlich, nicht sternförmig, 0,004—0,006‴ lang und 0,002‴ breit; sie umschliessen einen eigenthümlich schwarz punctirten, nicht scharf begrenzten Kern, welcher die länglichen Zellen blos in der Mitte ausfüllend, an deren beiden Enden einem blassen Inhalt Raum gestattet, die rundlichen, häufigsten aber meist allein in Besitz nimmt und so von einem freien nicht zu unterscheiden ist. Zwei Kerne in einer Zelle kommen nicht vor. Ausläufer zeigen sich nur wenig; nur die länglichen Zellen haben solche und auch nicht mehr als zwei, selten nur einen; sie sind nicht breit, sondern schmal und fadenartig. Da man verschiedene Ebenen nicht gut unterscheiden kann, so lässt sich über die Lage der Körperchen zu einander nichts Bestimmtes sagen; doch scheinen sie sehr dicht zu liegen. Starken Säuren widerstehen sie nicht und lassen sich nicht isoliren, wie auch bei allen folgenden Hornhäuten.

Bei einem $1^1/_2$ zölligen Embryo sind die Zellen 0,006‴ lang und 0,002—0,003‴ breit, der Kern ebenso breit und 0,004—0,005‴ lang; die Form der Zellen ist unregelmässig; bald zackig, bald rundlich. Der Kern füllt seltner die Zelle so vollständig aus wie vorher. Nicht selten kommen zwei Kerne in einer Zelle vor, welche bald dicht neben einander liegen, bald, wie mir schien, besonders in den höheren Schichten weiter auseinander gerückt sind. Die Ausläufer haben an Zahl sich etwas vermehrt und an manchen Stellen auch an Breite gewonnen, doch fehlen sie noch den rundlichen Zellen.

Bei einem $2^1/_2$ zölligen Fötus zeigt die Hornhaut an den auseinander gezupften Schnittenden sehr oft ein fein faseriges Ansehen. Die verschieden dicht liegenden Zellen sind sehr stattlich und gross, bis zu 0,015‴ lang und nicht viel schmaler, ihre Form ähnelt schon mehr der der Körperchen der erwachsenen Hornhaut. Der ovale Kern, der nie zu mehreren in einer Zelle liegt, ist bis zu 0,005‴ lang und halb so breit; er ist blass und fein granulirt. Der Inhalt, der den übrigen geräumigen Theil des Körperchens ausfüllt, ist ebenfalls sehr blass. Die ebenfalls blassen, nicht mit granulirtem Inhalte

erfüllten Ausläufer sind durchschnittlich fein und die Breite von 0,0005‴ nicht übersteigend, an einzelnen Stellen jedoch, wie an den Kreuzungsstellen, sind sie beträchtlich breiter, als in der erwachsenen Hornhaut, bis zu 0,002‴ und 0,003‴.

An einem Rindsfötus, dessen Augendurchmesser ca. 6 Mm. betrug, waren die sehr blassen Zellen 0,0088‴ lang und etwa halb so breit. Der kleinere Kern füllte sie bei weitem nicht ganz aus. Ausläufer setzten sich an jede Zelle etwa vier bis sechs an.

Bei dem Neugebornen sah His die zahlreichen Zellen mit ihren breiten Ausläufern in den oberflächlichen Schichten ein sehr dichtes Maschenwerk bilden. Ob dies Gefässe sind, wie Henle behauptet, oder wirklich Zellen, kann ich nicht sagen; denn das Bild ist sehr undeutlich wegen des unregelmässigen Verlaufs der Lamellen in diesen Schichten, und Runzeln der Oberfläche können sehr leicht mit den Ausläufern oder Gefässen verwechselt werden. In den tieferen Schichten bilden die nicht gedrängt liegenden, meist dreieckigen Körperchen mit den schmalen Ausläufern ein weites bogenförmiges Netz.

4) Gefässe und Nerven.

Die Gefässe hatte ich blos an einer Schafshornhaut zu beobachten Gelegenheit und zwar unter Verhältnissen, dass ich sie nicht unerwähnt lassen kann. Sie traten nämlich, noch mit Blutkörperchen gefüllt, als 0,004—0,006‴ starke Stämme unter dem Epithel in den obersten Schichten auf die Hornhaut über, in der sie an manchen Stellen ein dichtes Netz von 0,002—0,0015‴ breiten, mit wandständigen, längsovalen Kernen versehenen Capillaren bilden. Diese endigen $1^1/_2$—2‴ vom Rande der Hornhaut entfernt, indem die in verschiedener Tiefe laufenden Gefässe schlingenbildend unter einander communiciren. Ob dies wirklich ein normales Verhalten ist, weiss ich nicht, da die Hornhaut deutliche, aber nicht sehr vorgerückte pathologische Veränderungen zeigte; aber Nichts weiter wies darauf hin, dass diese Gefässe eine pathologische Neubildung seien. Auch finde ich bei His angegeben, dass Coccius die Gefässe ebenfalls beim Schafe bis in die Mitte der Hornhaut verfolgt habe.

Bei Embryonen sah ich keine Gefässe.

Zufällig waren auch an derselben Hornhaut die Nerven deutlich zu beobachten und zwar nur an der Hälfte, die ich in Holzessig gelegt hatte; die andere war in saurem chromsauren Kali erhärtet worden und enthielt in den Gefässen noch

die Blutkörperchen. Die Nerven traten ebenfalls in den oberflächlichsten Schichten als 0,006‴ dicke, mit Kernen besetzte Stämme am Rande der Hornhaut auf. Sie vertheilen sich schnell dichotomisch; doch haben sie noch 2—3‴ vom Hornhautrande die beträchtliche Mächtigkeit von 0,004‴. Die feinsten, noch mit Kernen besetzten, 0,0003—0,0004‴ breiten Fasern bilden an der Oberfläche der Hornhaut, sich dichotomisch vertheilend und untereinander anastomosirend, ein deutliches weitmaschiges Netz. An ihren Theilungsstellen findet sich fast immer eine dreieckige Erweiterung, die zu einem sehr bedeutendem Umfang (0,004—0,006‴, ja 0,008‴ im Durchmesser) anschwellen kann; die grösseren Erweiterungen haben meist einen deutlichen, rundlich-ovalen Kern, 0,002—0,003‴ breit. Ob sich an diese Erweiterungen nie mehr als drei Nervenfasern ansetzen, ist mir ungewiss; ich glaubte manchmal ziemlich deutlich vier zu bemerken und jede bis zu der nächsten Anschwellung oder zu dem nächsten Nervenstamm verfolgen zu können; die Erweiterungen hatten dann das Ansehen von Ganglienzellen. Ich kann hiemit also den bis jetzt noch nicht bestätigten, vielleicht oft angezweifelten Beobachtungen von His beitreten, auf dessen Abbildungen (Tab. III, 1—3) ich auch verweise. Ich mache noch darauf aufmerksam, dass auch His die Nerven an leicht gereizten Hornhäuten am besten beobachten konnte.

5) Die elastischen Lamellen.

Vielfach geleugnet (Strube, Rollet) jedoch mit Unrecht, ist die vordere elastische Lamelle. Als ein 0,003—0,004‴ breiter, glasheller, homogen erscheinender Saum grenzt sie sich gegen das vordere geschichtete Pflasterepithel hin scharf ab. Ihre Grenze gegen das Hornhautgewebe ist verwaschener und unregelmässig, im Ganzen wellenförmig. Es dringen nämlich aus den vorderen Schichten der Hornhaut eigenthümliche, von Kernen begleitete Fasern nach oben, Bowman's Stützfasern, wahrscheinlich elastischer Natur, welche oft aus bedeutender Tiefe kommend sich bei dem Menschen an die untere Grenze jener Membran inseriren, bei den Thieren auf ihre Oberfläche gelangen. Sie halten diese nach dem Hornhautgewebe hin fest, wie man leicht beim Behandeln mit Essigsäure sehen kann; da durch diese nämlich die Lamellen aufquellen, die Stützfasern aber keine Veränderung erleiden, so erscheint der vordere Rand an deren Insertionsstellen sehr stark eingebogen. Damit hängt die schwere Isolirbarkeit

dieser Membran zusammen. His bemerkte bei einer theils chemischen, theils mechanischen Isolation, dass sie das Vermögen besitzt, nach innen einzurollen. Sie ist sehr verschieden ausgebildet und schwankt in der Dicke beim Menschen sehr, ohne eine Regel, ohne dass sie etwa mit dem Alter zu- oder abnähme; bei einem Neugebornen und einem Zwanzigjährigen sah ich sie 0,006—0,007‴ breit, bei einem Alten etwas schmaler, 0,005‴ und ebenso breit wie die Descemet'sche Haut, welche bei jenen kaum 0,003‴ breit war. Bei den Thieren und wie es scheint, auch bei derselben Art ist sie nicht beständig; denn His vermisste sie beim Pferde, Hunde, der Ziege und Katze, fand sie dagegen beim Rind, Schaf, Schwein, Kaninchen und Meerschweinchen; Dornblüth konnte sie bei dem Reh, Schaf, Schwein und der Ziege nicht erkennen, und mir erging es ebenso beim Schaf, Schwein, Hund, der Katze und Ratte.

Dass die elastische Lamelle an ihrem Ende in Fasern ausgeht, wie Dornblüth meint, halte ich bei dem Menschen für wahrscheinlich; sie wird kaum schmaler und endet plötzlich. Bei dem Ochsen dagegen sah ich sie wie His schmaler werden und in einen scharfen Contour endigen, welcher das Epithel von dem Conjunctivagewebe trennt.

Weit stärker ausgebildet ist die Descemet'sche Haut. Beim Neugebornen 0,002—0,003‴ breit und mit dem Alter bis zu 0,006‴ und mehr anwachsend, ist sie beim Menschen vollkommen structurlos, glashell, gegen das Hornhautgewebe hin sehr scharf abgegrenzt und mit diesem nicht so fest verbunden, wie die vordere Lamelle, und trägt auf ihrer hinteren Fläche ein einfaches Pflasterepithel. Sie hat in noch höherem Grade, wie die vordere, die Eigenschaft einzurollen und zwar nach vorn. In der Mitte ist sie nach H. Müller schmäler, als an dem Hornhautrande, wo sie im Alter die von Henle und H. Müller beschriebenen Verdickungen besitzt. — Bei dem Pferde ist sie sehr deutlich aus ungefähr 24 0,002‴ dicken Lamellen zusammengesetzt, so dass sie im Ganzen die bedeutende Breite von 0,05‴ hat.

Ueber ihre Endigung und den Charakter der Elemente, in die sie ausgehen soll, herrscht noch manches Bedenken. Man erhält selten Hornhäute mit der Iris in der Art getrocknet, dass sie ein Studium dieser Theile zulassen. Desshalb giebt uns auch keine der zahlreichen, über die Hornhaut erschienenen Arbeiten über diese nicht ganz unwichtigen Verhältnisse Aufschluss.

Noch ehe die untersten Hornhautlamellen in das Gewebe der Sclerotica übergehen, entspringen an der vorderen Fläche der Descemet'schen Haut, doch noch durch sehr scharfe Contouren von ihr getrennt, elastische Platten, welche sich an die innere Seite der Hornhautlamellen anlegend, mit diesen weiter gehen. Ob sich die Descemet'sche Haut selbst in solche Platten auflöst, vermochte ich für den Menschen nicht zu bestimmen; bei Thieren verfolgte ich den directen Uebergang derselben sehr gut. Dass diese elastischen Platten solche sind, und keine Fasern, sieht man leicht an Schnitten, die dem Hornhautrande parallel geführt sind; hier zeigt sich ebenfalls eine parallele Streifung und nirgends Durchschnitte von Fasern. Nachdem einige dieser Platten sich vor dem Schlemmschen Canal, welcher mit einer structurlosen, mit Kernen versehenen und in Essigsäure deutlich hervortretenden Membran*) ausgekleidet ist, in Fasern aufgelöst und die benachbarten äquatorialen Bündel der Sclerotica umsponnen haben, gehen die übrigen an der inneren Seite dieses Canals vorbei und theilen sich in zwei Bündel. Das hintere, kleinere, welches den Namen Ligamentum ciliare verdiente, endet an dem Ursprung des Musculus ciliaris; es löst sich nämlich in Fasern auf, welche sich weit in den Musc. ciliaris erstrecken und, ihn in mehrere Bündel scheidend, seinen Fasern zum Ansatz dienen. Der andere, grössere, vordere Theil löst sich nach und nach in Fasern auf, die sich in das elastische Netz der Sclerotica verlieren; die äquatorialen Fasern dieser Membran dringen sehr weit gegen den Ursprung des Musc. ciliaris vor, so dass jenes Ligamentum ciliare nur die Breite von 0,015‴ besitzt, auf der vorderen Seite an diesen äquatorialen Fasern, auf der hinteren an der Iris anliegend.

Ob von dem Ligamentum ciliare Fasern oder Lamellen sich als Ligamentum pectinatum auf die Iris überschlagen, ist mir sehr unwahrscheinlich; mir gelang es einmal, die Iris an einem menschlichen Auge so abzuziehen, dass der Ursprung des Musc. ciliaris sammt dem ganzen Lig. ciliare an der Sclerotica liegen blieb; ich konnte aber nirgends abgerissene Fasern bemerken. Erhielt ich an einem Schnitt Fasern, die sich zur Iris begaben, so waren es sicher blos von dem Lig. ciliare abgerissene Platten, welche an der Iris weiter zum Musc. ciliaris liefen. Machte ich mit einem scharfen Messer an günstig getrockneten Präparaten Schnitte von der Cornea gegen die Sclerotica hin, so suchte ich auch hier vergebens

*) Von Henle im Jahresbericht f. 1852 beschrieben.

nach solchen Fasern, die sich auf die Iris umbogen; ebenso wenn ich das Messer von der Iris gegen die Sclerotica hin führte. Was zu jenem Lig. pectinatum Veranlassung gab, ist die Starrheit und Sprödigkeit des Lig. ciliare in getrocknetem Zustande; besonders wenn man wie gewöhnlich den Schnitt von der Cornea gegen die Sclerotica hin führt, springen leicht Platten ab und legen sich um; auf diese Weise entstehen jene von Kölliker*) beschriebenen blassen Fasern von homogenem, oft streifigem Aussehen, die eine wechselnde Breite von 0,004—0,012‴ besitzen, je nach der Dicke des Schnittes. Man kann ihrer beliebig viele durch Druck erzeugen.

II. Die pathologischen Veränderungen in der Hornhaut.

1) Die früheren Beobachtungen.

Während der Bau der normalen Hornhaut Gegenstand vielfältiger, von allen Seiten angestellter Untersuchungen war, betreten wir mit den Nachforschungen über die pathologischen Veränderungen in der Hornhaut ein Gebiet, in dem wir trotz seiner Wichtigkeit nur wenige Vorgänger haben. In systematischer Weise wurde es zuerst von His zum Gegenstand mikroskopischer Forschung gemacht. Nur Wenige waren seine Nachfolger; von Weber**) und Frey***), die ihre eigenen Beobachtungen hierüber nicht ausführlich mittheilen, sind seine Resultate einfach in allen ihren Puncten bestätigt worden; Förster†) giebt zwei Abbildungen mit ebenfalls zustimmendem Texte und Wedl's††) Abbildungen nebst Text scheinen auch nicht zu widersprechen. Auch Rindfleisch's†††) wenige Beobachtungen, die auch nur kurz mitgetheilt werden, stimmen in den Hauptpunkten mit His Arbeit überein. Trotzdem kann ich in das grosse Lob, das His von dieser Seite erhalten hat, nicht einstimmen; während dieser Dornblüth den Vorwurf einer einseitigen Untersuchung gemacht hat, ist er in dem zweiten Abschnitte seiner Abhandlung in denselben Fehler verfallen: überall Holzessigpräparate, nur

*) Gewebelehre. 3. Aufl. S. 619.

**) Zur Entwickelungsgeschichte des Eiters. Virchow's Archiv. XV. 475.

***) Histologie und Histochemie. S. 283. Anmerk. 5.

†) Atlas der pathologischen mikroskop. Anatomie. XXXIII. 3 und XXXV. 12.

††) Atlas der pathologischen Histologie des Auges. Lief. 1. 1860.

†††) Untersuchungen über die Entstehung des Eiters. Virchow's Archiv. XVII. 239.

beiläufig die Bemerkung, dass diese oder jene Gebilde in frischem Zustande ganz Eiterkörperchen ähneln, dabei die Ueberschätzung der Flächenschnitte zur Untersuchung der Hornhautkörperchen und ihrer Veränderungen; nur einmal und auch da nur in einer Anmerkung sind Reactionen auf chemische Einwirkungen erwähnt; vom Isoliren gar ist in den Untersuchungen, von denen die Theorie gestützt wird, nicht im Mindesten die Rede. Doch genug hiervon; die folgenden Blätter werden, wie ich hoffe, hinreichend Belege dazu liefern, und wir werden später auf diese Untersuchungen ausführlicher zurückkommen.

2) Beobachtungen über künstlich erzeugte Entzündungen.

Das erste, dem unbewaffneten Auge sichtbare Zeichen einer Hornhautentzündung, die etwa durch einen central angebrachten Faden veranlasst war, ist eine leichte Trübung im Umkreise des letzteren. Ungefähr zu gleicher Zeit erleiden die Gefässe der Conjunctiva eine Anschwellung und Röthung, in deren Gefolge eine leichte Trübung an dem Hornhautrande auftritt. Beide Trübungen nehmen an Intensität und Ausbreitung zu, bis sie sich in der zwischen Reizpunkt und Peripherie gelegenen Mittelzone begegnen. Der Faden wird an seinen freien Enden von einer schleimigen Masse durchtränkt, welche durch den Augenlidschlag gegen den inneren Augenwinkel geführt wird; aus der vorderen Augenkammer sieht man oft weissliche Flocken hervorschimmern, sich nach und nach zu einem Ganzen vereinigen und an einer bestimmten Stelle ablagern. Es dauert nur einige Tage bis die ganze Hornhaut eine intensiv weisse Färbung angenommen hat. Bis zu letzterem Stadium konnte ich noch keine Gefässbildung wahrnehmen. Bei der Section eines solchen Auges fand His den Glaskörper von Eiteransammlungen durchzogen und in der vorderen Augenkammer sehr bedeutende Anhäufungen von Eiterkörperchen, welche in einer faserigen Masse eingebettet sind. Bei einem Kaninchenauge, dessen Hornhaut sieben Tage gereizt und intensiv getrübt war, fand ich den ganzen Glaskörper oder vielmehr dessen Stelle von geronnenem Blute erfüllt, in welchem hier und da sich weissliche Fäden von Eiterkörperchen zeigten. Die Linse war aus einem bei der Tödtung des Thiers durch die Erschütterung entstandenen Risse am Hornhautrande herausgefallen, und die vordere Augenkammer von einem weissen, die Pupille umgebenden Ringe geronnenen Eiters erfüllt.

Der Eintritt der einzelnen Erscheinungen ist an keine bestimmte Zeit gebunden. An einem Pferd konnte ich drei bis vier Stunden, nachdem die Hornhaut durch einen etwa 3‴ langen Schnitt verletzt war, eine leichte Trübung bemerken; diese nahm jedoch so wenig zu, dass am sechsten Tage nach der ersten Reizung in dem einen Rande der noch klaffenden Wunde ein Riss angebracht wurde; doch war auch dieser drei Tage nachher schon in Heilung begriffen; und bei einem Kaninchen rückte in 14 Tagen die Entzündung nicht so weit vor, als bei dem vorhin erwähnten in der Hälfte der Zeit.

Ehe ich zur mikroskopischen Betrachtung übergehe, bemerke ich noch, dass ich mich sowohl getrockneter als gekochter Hornhäute bediente. Die ersteren benutzte ich zu senkrechten Schnitten, deren Hauptvortheil darin besteht, dass sie auf einen Blick die ganze Ausbreitung der Entzündung zeigen und so die Uebersicht über ihre einzelnen Erscheinungen sehr erleichtern; sie geben aber auch in den Einzelheiten manchen Aufschluss, den Flächenschnitte, die ich an gekochten gewann, nicht gewähren. Hiernach möchte ich folgende Methode empfehlen: zuerst die betreffende Hornhaut zu trocknen, senkrechte Schnitte von ihr zu untersuchen, und nachdem man sich mit Leichtigkeit in ihr orientirt hat, die eine Hälfte derselben in Wasser aufzuweichen und zu kochen, um dann dieselben Veränderungen von der Fläche zu studiren. Noch muss ich erwähnen, dass man zur Untersuchung der ersten Stadien der Entzündung nur Eine Hornhaut reizen darf, um die andere zur Vergleichung benutzen zu können, und dass die folgenden Entzündungen durch einen im Hornhautcentrum angebrachten Faden hervorgerufen wurden.

I. Eine Hornhaut, die vor $1^3/_4$ Stunden gereizt wurde, zeigt nur sehr geringe Veränderungen. Mit dem unbewaffneten Auge ist an der Reizungsstelle kaum eine Trübung zu bemerken. Unter dem Mikroskope sieht man an Flächenschnitten in der Nähe der Sclerotica hier und da einen in zwei oder drei Stücke zerfallenen Kern in den Hornhautkörperchen; ob dies schon Anfänge der pathologischen Veränderungen sind, ist nicht zu entscheiden.

In einiger Entfernung von dem centralen Reizungspunkte scheinen die Hornhautkörperchen im Allgemeinen etwas vergrössert zu sein und demgemäss eine rundliche oder quadratförmige Gestalt angenommen zu haben. Die Membran liegt dem ungetheilten Inhalte meist dicht an; manchmal ist sie aber durch einen hellen Zwischenraum von ihm getrennt. Der

Kern ist blass, länglich, in der Mitte eingeschnürt, von Biscuitform, selbst getheilt, und in jedem Theile ist ein Kernkörperchen zu bemerken. Die Theile sind von verschiedener Grösse und Form; die Art der Theilung ist nicht immer dieselbe; bald theilt sich der Kern der Länge, bald der Quere nach, und manchmal scheint er auf einmal in drei gleiche Stücke zerfallen zu sein; in der Regel sind die grösseren blasser, als die kleineren. Wie sich die Membran der Körperchen zu diesen Stücken verhält, ist meist nicht zu ermitteln; man sieht gewöhnlich letztere zu zwei oder drei neben einander liegen und zusammen eine rundliche oder eckige Figur bilden; diese wird nach aussen oft durch einen hellen, schmalen Saum begrenzt, auf welchen dann das fein granulirte Gewebe folgt; bei manchen ist allerdings die Grenze zwischen Saum und Gewebe durch einen dunkeln, doch selten scharfen Contour bezeichnet, welcher für eine Membran gelten könnte. Oft fehlt dagegen diese Linie, und es lässt sich in der That nicht entscheiden, ob die einzelnen Stücke wirklich frei im Gewebe liegen, jedes von einer besondern Membran umschlossen oder nicht. Eine besondere Scheidewand zwischen den einzelnen Stücken anzunehmen, der Art, dass diese als selbstständige Zellen frei im Gewebe lägen, dazu könnte man allerdings bei einigen Bildern versucht sein; doch sind für eine bestimmte Behauptung diese Figuren zu vieldeutig. Selbst der helle Saum fehlt oft und die Stücke stossen gerade an das Gewebe.

Man sollte denken, dass diese Schwierigkeit der Erklärung durch die Isolation der Körperchen gehoben werde; allein leider üben die Säuren auf den Inhalt derselben einen nachtheiligen Einfluss aus; er wird sehr blass und lässt keine deutliche Theilung erkennen.

Die Ausläufer kann ich nicht erweitert finden, auch nicht nach Aufhellung des Gewebes durch Essigsäure. Doch sind manche dunkel und etwas varicös, was übrigens in der normalen Hornhaut ebenfalls vorkommt.

Ich habe diese Formen deshalb so ausführlich beschrieben, um die Aehnlichkeit zwischen den Beobachtungen von His und mir zu veranschaulichen. Zum Zwecke der Beurtheilung dieser Bilder muss ich auf die Beschreibung der Hornhautkörperchen im normalen Zustande von His und mir verweisen. His hat ihre Form als regelmässiger angenommen und deshalb übersehen, dass die ersten pathologischen Veränderungen so unbedeutend sind, dass man gezwungen ist, sie rückwärts von den deutlich angegriffenen Stellen aus zu

verfolgen und mehr als einmal zu ihrem Studium zurückzukehren. Ich muss hierbei wiederholt die Vergleichung der normalen Hornhaut mit der in den ersten Stadien der Entzündung begriffenen empfehlen; man wird dabei auf früher übersehene Formen in der normalen Hornhaut aufmerksam, über deren Häufigkeit man jetzt erstaunt ist.

Ein bestimmt pathologisch verändertes Bild erhalten wir gerade an der Reizungsstelle. Die Hornhautkörperchen haben ihre früheren Formen verloren und schwer zu beschreibende, sehr unregelmässige angenommen. Die Kerntheilung scheint nicht zugenommen zu haben. Ausgezeichnet ist das Bild durch viele, kleine, gelbliche Kügelchen von sehr verschiedener Grösse und starkem lichtbrechendem Vermögen. Sie liegen theils in oder an den Hornhautkörperchen, sehr oft in grosser Anzahl, was letzteren ein eigenthümlich bräunliches, bei dem übrigen hellen und durchsichtigen Bilde sehr auffallendes Ansehen giebt; vielleicht auch finden sie sich in oder an den Ausläufern, doch von den varikösen, im normalen Zustande vorkommenden Anschwellungen nicht gut zu unterscheiden. Zu einem grossen Theil aber liegen sie frei, zerstreut im Gewebe selbst; hier finden sich auch grössere, rundliche oder unregelmässig gestaltete Ansammlungen einer gelblichen, stark lichtbrechenden Materie, von keiner Membran umgeben. Dies deutet darauf hin, dass wir es mit Fettbildung zu thun haben, eine Ansicht, die durch die Löslichkeit jener Materie in Aether bestätigt wird.

II. Das zweite Untersuchungsobject bildet die Hornhaut eines jungen Kaninchen, die sechs Stunden lang gereizt und später blos getrocknet wurde. Die Entzündung ist schon weit stärker im Gange. Es finden sich schon deutliche Eiterkörperchen und zwar auffallender Weise nicht im ganzen Umkreise des Fadens, welcher nicht bis in die vordere Augenkammer gelangt war und nur das Hornhautgewebe selbst verletzt hatte, sondern nur auf der einen Seite des Zwischenraums zwischen vorderem Epithel und Faden ist die Entzündung bis zur Eiterung gediehen. Die Eiterkörperchen sind sehr leicht zu erkennen; es sind matt aussehende, granulirte Kügelchen von 0,003‴ im Durchmesser, in welchen man schon nach nicht sehr langer Einwirkung des Wassers die Membran sich von dem Kern entfernen und letzteren in zwei bis vier kleine Stücke zerfallen sieht, bei Zusatz von Essigsäure wird diese Reaction noch deutlicher; man muss sie aber während der Einwirkung jenes Reagens verfolgen, da die aufquellenden Lamellen die Membran zusammendrücken

und unkenntlich machen, so dass die einzelnen Stücke frei zu liegen scheinen. Die Eiterkörperchen liegen selten zu zwei oder drei neben einander; manche sind in die Länge gezogen und viele deutlich in Theilung begriffen. Hauptsächlich liegen sie zwischen den Lamellen; doch scheinen sie auch in denselben vorzukommen, was man leicht durch Essigsäure nachweisen kann. Diese zieht durch das Aufquellen der Lamellen die in diesen liegenden in die Länge und zwar in der Richtung der Dicke der Hornhaut; die zwischen denselben liegenden werden durch denselben Vorgang zusammengepresst.

In den übrigen Schichten, die den Faden umgeben, sind die Hornhautkörperchen etwas deutlicher, d. h. dicker geworden; beim Verschieben der oberen Fläche des Schnitts gegen die untere werden sie breiter und lasssen eine eckige Gestalt erkennen. Sie verlieren dabei ihre dunklen Farben und, je nachdem man sie auf die eine oder andere Seite legt, erhält die eine oder andere Kante einen dunkeln Saum. Diese wenig verdickten Hornhautkörperchen gehen allmählich in die normalen oder die von den normalen nicht zu unterscheidenden über, man bemerkt sie in den oberen Schichten noch ziemlich entfernt von dem Reizpunkt, während man kaum zehn Lamellen unterhalb der Durchtrittsstelle des Fadens in der Tiefe der Hornhaut keine Unterschiede zwischen den daselbst befindlichen und den normalen machen kann.

Unter dem Epithel findet man hie und da einzelne Eiterkörperchen, welche beim Entfernen desselben zum Theil ihm folgen, zum Theil aber auch auf der vorderen elastischen Lamelle liegen bleiben.

In den vom Reizpunkte entfernten Schichten ist Nichts zu bemerken; nur sieht man in der Mittelzone die Descemet'sche Haut durch einen gelben Saum verhüllt, und hier und da scheinen auch an derselben Fettkörnchen vorzukommen. Die Bedeutung dieses Saums ist mir nicht ganz klar; ich möchte ihn für ein das Gewebe durchtränkendes Fett halten, wenn er nicht Aether widerstände. Sein häufiges Vorkommen an nicht entzündeten Hornhäuten spricht eher für, als gegen diese Deutung, da ja die Hornhautkörperchen sich sehr leicht in Fett verwandeln.

III. Schon makroskopisch deutlich sichtbar ist die Entzündung an der Hornhaut eines jungen Kaninchens, die 16 Stunden gereizt war. An dem Faden zeigt sich schon eine intensive Trübung und unter dem Mikroskop sieht man an senkrechten Schnitten demgemäss eine sehr bedeutende

Eiterbildung; besonders in den oberen Schichten zwischen Epithel und Faden ist sie am weitesten nach beiden Seiten hin vorgedrungen, während an der unteren Seite des Fadens sich nur wenig Eiter findet. Die Eiterkörperchen liegen natürlich schon viel dichter, als bei dem vorigen Präparate; während dort nur selten zwei oder drei neben einander lagen, kommt dies hier häufiger vor; man sieht öfters verlängerte, eingeschnürte Körperchen und ganz deutliche Formen der Theilung. Mehrere aber von einer Membran umschlossen, konnte ich nicht bemerken, und die Isolirungsmittel zeigen sich auch hier leider nicht sehr zuverlässig; es gelingt wenigstens nicht die Isolation einer grösseren Gruppe von drei oder vier Eiterkörperchen, die nicht durch Erzeugung einer Strömung oder durch gelinden Druck von einander zu entfernen wären. — Der Faden selbst ist von einer bräunlichen, körnigen Masse umgeben, in der man vereinzelte Fettkörnchen bemerken kann.

Diese Stellen der Eiterbildung sind in ihrem ganzen Umkreis von angeschwollenen Hornhautkörperchen umgeben, unter welchen man oft in grosser Entfernung von dem Reizungspunkte ein vereinzeltes Eiterkörperchen antrifft.

An der Sclerotica ist die Entzündung ebenfalls schon eingeleitet, wie auch in dieser Membran selbst. Diese letztere in der Sclerotica lassen wir indessen ausser Acht, da ihre Beurtheilung wegen des verfilzten Faserverlaufs sehr schwierig ist; sie scheint indessen, wie sich dies schon makroskopisch nachweisen lässt, mit der Entzündung der Hornhaut parallel zu laufen. An dem Hornhautrande finden sich dieselben oben beschriebenen Formen der Eiterkörperchen, doch nur in geringerer Anzahl, und zwar hauptsächlich in den oberen Schichten, weniger in den unteren; ein solcher Unterschied aber zwischen diesen Schichten wie im Centrum herrscht hier nicht. Auch hier ist die Region der Eiterbildung von angeschwollenen Hornhautkörperchen umgeben, welche sich indessen auch in der Mitte der Eiterkörperchen finden.

In der Mittelzone sind die Hornhautkörperchen mit feinen Fettkörnchen bedeckt, welche sich ebenso in den Lamellen finden. Die Processe der Fettbildung begegnen sich hier von der centralen und der peripherischen Entzündung her in der Art, dass sie an der Descemet'schen Haut zusammenstossen, wo sie auch bei weitem ihre stärkste Intensität erreichen, in den oberen Schichten aber erscheint eine ziemlich grosse Strecke unverändert, auf beiden Seiten von Fettbildung umgeben. Die Descemet'sche Haut ist auch hier fast in ihrer

ganzen Ausdehnung von jenem gelblichen Saum bis zum Unkenntlichwerden verhüllt.

IV. Bei der Hornhaut eines alten Kaninchens zeigen sich 24 Stunden nach der Reizung dieselben Formen. Die schleimige Masse, welche den zum Theil in der vorderen Augenkammer liegenden Faden umgiebt, enthält keine Eiterkörperchen; sie zeigt sich faserig oder fein granulirt; das Gewebe selbst in der nächsten Umgebung des Fadens ist intensiv getrübt. Die Hornhaut wurde getrocknet.

Die Durchtrittsstelle des Fadens ist durch die grösste Entzündung ausgezeichnet; dieser selbst ist, so lange er im Hornhautgewebe liegt, mit einer fein granulirten Masse umgeben, in der sich bei Zusatz von Essigsäure vereinzelte Eiterkörperchen mit getheiltem Kern zeigen. Im angrenzenden Gewebe sieht man viele längliche, eingeschnürte oder in Theilung begriffene Eiterkörperchen zusammen in einer Hornhautlücke liegen, ohne jedoch eine sie umschliessende Membran wahrzunehmen, und ohne dass sich eine solche durch Isolation nachweisen liesse. Sie haben schon eine ziemlich starke Ausbreitung gewonnen, besonders in den mittleren Schichten; doch finden sie sich hier auch in den unteren, ebenfalls vom Faden getroffenen Schichten. — Zwischen Epithel und vorderer elastischer Lamelle liegen sehr zahlreiche Eiterkörperchen dicht an einander gereiht über die ganze getrübte Fläche hin und mögen wohl die intensive Trübung mit veranlassen. — Eine zweite, noch stärkere Anhäufung von Eiterkörperchen findet sich an der Stelle der Descemet'schen Haut, wo diese durch den hinter ihr liegenden Faden eingebogen ist. Diese Ansammlung ist mehrere Schichten hoch, und bei etwas dicken Schnitten muss man sich der Essigsäure bedienen, um diese Gegend aufzuhellen; dass man dabei auch kleine Kügelchen bemerkt, welche aus der Masse der Eiterkörperchen zu bestehen scheinen, rührt wohl daher, dass der Kern der letzteren bei starker Einwirkung jenes Reagens zerfällt und die Membran schwindet.

Auch an dieser Hornhaut ist die Region der Eiterbildung umgeben von derjenigen der dickeren Hornhautkörperchen, bei welchen ich ebenfalls auf das oben Gesagte verweise; an der Stelle der stärkeren Eiterbildung fehlen sie ganz.

Die peripherische Entzündung ist in den oberen Schichten schon ziemlich stark, besonders an der Uebergangsstelle der Cornea in die Sclerotica. Die Formen sind dieselben, wie früher; meistens einzelne Eiterkörperchen, rundlich, eingeschnürt u. s. w., doch kommen schon mehrere in einer Lücke

vor. Unter diesen und sie umgebend zeigen sich auch hier wieder die verdickten Hornhautkörperchen.

In einiger Entfernung von der Sclerotica beginnt an der Descemet'schen Haut die Fettbildung und steigt schnell von den unteren zu den oberen Schichten empor. Nach dem Reizpunkte zu hört sie in den mittelsten Lagen zuerst auf und dringt in den untersten am weitesten gegen die Mitte vor. Die Descemet'sche Haut selbst ist wieder von jenem gelblichen Saum auf eine lange Strecke hin in der Mittelzone verhüllt.

V. Zur Vergleichung betrachten wir jetzt die Hornhaut eines Kaninchens, welche ebenfalls 24 Stunden gereizt, aber später gekocht wurde. Wir sehen also hier die Veränderungen, die wir vorher auf senkrechten Schnitten betrachteten, von der Fläche. Ich bemerke übrigens vorher, dass die Entzündung nicht so weit vorgeschritten ist, wie bei Nr. IV.

Denn noch in den oberflächlichen Schichten der Mittelzone finden wir jene ersten Veränderungen, die wir bei Nr. I. ausführlich beschrieben haben. Dann folgt nach der Reizungsstelle zu eine Region, in der die Fettbildung stattfindet, welche, wie ein senkrechter Schnitt lehrt, ziemlich in die Tiefe gedrungen ist und den Reizpunkt in einem Halbkreis umgiebt.

An der Entzündungsstelle hat sich schon das Aussehen des Gewebes verändert; es zeigt nämlich eine sehr feine, nicht wellenförmige, sondern gerade, parallele Streifung, die von der beginnenden deutlicheren Zerfaserung des Gewebes herrührt. Denn die Streifen laufen in einer Ebene in derselben geraden Richtung und kreuzen sich nur in verschiedenen Ebenen. Jedoch sind sie noch nicht sehr deutlich, weshalb man sie bei den andern, bedeutenden Veränderungen, die jenes Bild darbietet, leicht übersehen kann. Besonders ausgezeichnet ist es nämlich durch das Fehlen der Hornhautkörperchen und durch eine grosse Anzahl von Körperchen mit sehr scharfen Contouren, theils dunkel, länglich, mit starkem lichtbrechendem Vermögen, 0,006‴ lang und 0,002‴ breit, theils rundlich und hell, granulirt, oft mit doppeltem Kernkörperchen, 0,003‴ im Durchmesser. Unter diesen finden sich noch stark ausgezogene, spiessförmige und andere geschwänzte Körperchen zerstreut. Ueber die Bedeutung dieser Gebilde können wir nach den vorhergehenden Untersuchungen nicht mehr im Zweifel sein: es sind offenbar die Eiterkörperchen, deren Kern bei dem Kochen leider die Eigenschaft verloren hat, bei Essigsäureeinwirkung zu zerfallen; auch jene Lancett- und Spiessformen möchte ich dafür halten, da ich an

getrockneten Hornhäuten nie dergleichen weder im Längs-, noch im Querschnitt wahrnahm. Um die Einwirkung des Kochens auf die Formen der Eiterkörperchen zu erklären, müssen wir in Betracht ziehen, dass die Hornhaut beim Kochen zugleich von den Seiten, der Sclerotica her zusammenschrumpft und in der Richtung der Dicke aufquillt. Durch letzteres wird das zwischen den Lamellen Liegende gepresst, und wo möglich, in senkrechte Spalten der Lamellen hineingedrückt; dass dies hier geschieht, ist nicht unwahrscheinlich, da ja die Lamellen sich deutlicher zu Fibrillen zu zerklüften angefangen haben; und ein senkrechter Schnitt lehrt in der That, dass die Eiterkörperchen sich sehr häufig auch in den Lamellen finden. Solche Körperchen werden nun nicht mehr von den aufschwellenden Lamellen gepresst, sondern in die Länge gezogen, wie wir das schon oben beim Behandeln eines Schnittes einer getrockneten Hornhaut (II.) sahen. Auf dieselbe Weise wirkt nun auf diese das Schrumpfen ein, welches sie von den beiden Seiten zusammenpresst. Während also das Aufquellen ihre senkrechte Axe verlängert, geschieht dasselbe mit der horizontalen beim Schrumpfen. Dass die cytoiden Körperchen sich leicht verändern, ist bekannt. Man braucht nur Sputa auf dem Objectgläschen hin und her zu ziehen, um die Speichelkörperchen in lange Nadeln sich ausziehen zu sehen; ich erinnere noch an die Beobachtungen von Lindwurm*) über ein gleiches Verhalten der farbigen Blutkörperchen. Auf diese Wirkungen kann man alle diese langgestreckten, nadelförmigen Gestalten zurückführen. Wenn es gelingt, eine solche umzulegen, verliert sie ihre vorher sehr scharfen und dunklen Contouren und wird blasser und breiter. Gegen die Annahme, dass es mit Inhalt erfüllte Ausläufer sind, spricht der Umstand, dass man sie nie mit Hornhautkörperchen in Verbindung, sondern nur vereinzelt im Gewebe liegen sieht. Die länglichen Formen sind am häufigsten am Reizpunkte, während die rundlichen sich entfernter von ihm halten. Man findet 3, 4 solcher Körper in Reihen geordnet, deren man hier nur wenige und nicht sehr ausgedehnte antrifft; diese, sowie die länglichen Eiterkörperchen sind in der Richtung der Streifen des Gewebes gestreckt, also in derselben Ebene einander parallel, die Reihen kreuzen sich nur in verschiedenen Ebenen, wie die Streifen des Gewebes, und zwar unter spitzen und meist sehr spitzen Winkeln. Wir kommen auf sie später noch zurück, da es sich hier um

*) Zeitschrift für rationelle Medicin. VI, 266.

einen bedeutenden Unterschied zwischen His' und meinen Beobachtungen handelt.

Die Formen zwischen dem Reizpunkte und der Fettbildung wollen wir nur kurz behandeln, da es passender erscheint, sie bei der nächsten Hornhaut ausführlicher zu betrachten. Es finden sich daselbst blasse Hornhautkörperchen, die sich vor den Eiterkörperchen durch ihre eckigen Gestalten auszeichnen. Nahe an dem Fettbildungsprocess sehr unregelmässig, runden sie sich nach dem Reizpunkt zu ab, unterscheiden sich von den Eiterkörperchen aber noch durch ihre Ausläufer; oft ist man aber sehr im Zweifel, welche von beiden Gebilden man vor sich hat, da die Eiterkörperchen leider ihre charakteristischen Reactionen eingebüsst haben. Betrachten wir zuletzt noch die peripherische Entzündung, so sind daselbst die Hornhautkörperchen nicht merklich vergrössert, wenigstens nicht im höheren Grade, als früher im Centrum. Die verschiedenen daselbst vorkommenden Formen des Inhalts und Kerns sind schon beschrieben (Nr. I). Zur Fettbildung ist es jedoch noch nicht gekommen.

VI. Bei der folgenden Hornhaut, die auch blos 24 Stunden gereizt war, ist eine bedeutendere Entzündung zu bemerken; bei ihr liegt der Faden nur in dem Gewebe und nicht auch in der vorderen Augenkammer; und daher kommt es, dass neben der intensiven, centralen Trübung ein leichter, nebelhafter Schleier über die ganze Hornhaut sich hin lagert.

In getrocknetem Zustande sieht man an ihrem Rande viele rundliche, längliche oder eingeschnürte Eiterkörperchen zwischen den Lamellen, oft mehrere zusammen in derselben Lücke, ohne dass auch hier eine gemeinsame Membran sichtbar wäre.

Weiter vom Rande entfernt nimmt die Zahl der Eiterkörperchen ab; sie liegen mehr vereinzelt; es zeigen sich bei ihnen oft ausserordentlich deutliche Formen der Theilung und Abschnürung. Je mehr man sich der centralen Entzündungsstelle nähert, desto häufiger werden wieder die Eiterkörperchen, besonders in den oberen Schichten; zwei, drei, vier und mehr bei einander finden sich sehr oft, während in den unteren Schichten ihre Anzahl immer mehr abnimmt. In den letzteren verschwinden sie zuletzt sogar ganz, und man sieht nur die bedeutend dicker gewordenen Hornhautkörperchen, die beim Umlegen breiter und blasser werden und hier und da, doch selten, Ausläufer zeigen. In den obersten Schichten herrscht jedoch die intensivste Eiterbildung; die Lamellen sind auf weite Strecken auseinander gewichen und fassen viele, aneinander gereihte und in mehreren Schichten aufeinander-

liegende Eiterkörperchen zwischen sich, welche nah an der Reizungsstelle das Gewebe fast gänzlich verdrängen und undurchsichtig machen. Man sieht daselbst eine gelblich graue Masse, die ohne Reagens nichts Bestimmtes erkennen lässt, und durch Essigsäure nur zum Theil aufgehellt, eine Menge Eiterkörperchen zeigt; hier und da sieht man kleine Fetttröpfchen in der unmittelbaren Umgebung des Fadens. Von diesem an ist das Gewebe undurchsichtig, an manchen Stellen schwarz gestreift, an andern fein granulirt. — Auch jener räthselhafte Saum an der Descemet'schen Haut fehlt hier nicht und erstreckt sich in der Mittelzone am weitesten nach oben. Fettbildung ist nicht mehr zu bemerken.

Sehr belehrend sind die Flächenschnitte, welche wir an dieser Hornhaut, nachdem sie gekocht wurde, erhalten.

Die geringste Entzündung ist, wie wir gesehen haben, an der Descemet'schen Haut in der Nähe des Reizpunktes. Hier haben wir also die ersten Entstehungsformen des Eiters zu erwarten. In diese Strecke dringt die Entzündung von oben, dem Reizpunkte aus und der Sclerotica her ein. Daher kommen hier fast alle Formen neben einander vor, so dass jede Beschreibung und Gruppirung derselben einen Schein der Willkürlichkeit erhält; dazu kommt noch der Umstand, dass die Hornhaut, die vorher im getrockneten Zustande durchschnitten war, gerade an dieser Randstelle des gekochten Stückes unregelmässig zusammenschrumpft, was die reinen Flächenschnitte sehr erschwert und nur auf sehr kurze Strecken möglich macht. Wenn wir indessen auf die kurze Charakteristik der Formen zwischen der Eiter- und Fettbildung der vorigen Hornhaut zurückblicken, so kann uns diese als Leitfaden durch dieses Formengewirr dienen.

Die Hornhautkörperchen sind noch deutlich zu erkennen, besonders an ihrer eckigen Gestalt und ihren bei Zusatz von Essigsäure hervortretenden feinen Ausläufern. Ihre verschiedenen Formen sind schwer zu beschreiben und im Allgemeinen sehr zackig. Die Kerne fallen theils durch ihre geringe Grösse und ihr stark lichtbrechendes Vermögen auf. Die Theilung derselben scheint indessen gegen die ersten Stufen der Entzündung — im Gegensatz zu der vorigen Hornhaut — nicht zugenommen zu haben; man könnte eher behaupten, dass sich die einzelnen Stücke wieder zusammengeballt hätten. Bei zerfallenem Kerne sind die einzelnen Theile mehr rundlich, in die Länge gezogen und abgerundet, und liegen mit ihren Längsaxen meistens parallel neben einander. Weit häufiger ist der ungetheilte Kern; die Membran liegt dem

Inhalt dicht an; in den grösseren Körperchen zeichnet sich oft ein sonst nicht abgegrenzter Theil durch sein grosses lichtbrechendes Vermögen aus. Unter diesen Gestalten, welche noch die meiste Aehnlichkeit mit den Hornhautkörperchen besitzen, finden sich nun zerstreut einzelne längliche oder rundliche Eiterkörperchen, deren Form bei V beschrieben ist (S. 30). Das häufige Vorkommen jener spiess- und nadelartigen Gebilde am Rande des gekochten Stückes kommt wohl auf Rechnung der starken und unregelmässigen Schrumpfung an dieser Stelle. Selten sieht man ein Eiterkörperchen von runder Gestalt von den nach verschiedenen Seiten abgehenden Ausläufern umgeben; ob diese aber noch mit ihm zusammenhängen, ist nicht zu entscheiden. Etwas häufiger kommt es vor, dass ein langgestrecktes Eiterkörperchen zwei sehr kurze Längsausläufer besitzt, von denen es oft zweifelhaft ist, ob sie nicht äusserlich dem Körperchen anliegen; im Uebrigen sind die Ausläufer verschwunden. Das bei weitem häufigste Vorkommen ist das länglicher, ovaler, mit einer Einschnürung versehener Eiterkörperchen, welche selten zu zwei oder drei mit der Längsaxe parallel nebeneinander, meistens einzeln im Gewebe liegen.

Gehen wir nun allmählich zu den stärker entzündeten Stellen über, d. h. nach der centralen oder peripherischen Entzündung zu, so nehmen die Hornhautkörperchen ab und verschwinden ganz; dagegen mehren sich schnell die Eiterkörperchen; man sieht sie, meist rundlich, manchmal ebenfalls in die Länge gezogen und eingeschnürt in langen, geraden parallelen Reihen, oft durch Linien mit einander verbunden, welche, wie die Streifen der Grundsubstanz, in derselben Ebene einander parallel laufen. Sie liegen an den schwächer entzündeten Stellen in einer Entfernung von 0,004‴ und mehr, bei stärkerer Entzündung viel dichter, und mit ihnen nimmt zugleich auch die Deutlichkeit jener Streifen zu. An der Reizungsstelle selbst berühren sie sich alle und verdrängen das Gewebe ganz; ja an den Orten der stärksten Entzündung kann man aus der dunkeln Masse nur mit Mühe einzelne Reihen herauslesen.

An der Sclerotica sind die Reihen nicht so häufig, und werden von den oberflächlichen zu den tieferen Schichten hin seltener. Doch sieht man hier, wie an der Reizungsstelle, einzelne regellose Anhäufungen von Eiter, die aber von keiner Membran umschlossen sind.

Bei den Isolationsversuchen kann man nicht mehr die langen Reihen erkennen; dagegen schwimmen sehr viele Eiter-

körperchen einzeln umher, auch zwei und drei aneinander. Um dies zu beobachten, muss man solche Stellen wählen, an denen die Reihen noch nicht so häufig sind, und zwar möglichst dünne Schnitte; sonst legt sich das, was früher in verschiedenen Ebenen lag, bei der Auflösung des Gewebes in eine einzige neben einander, und bei einem Druck strebt Alles auf einen Haufen zusammen, der nichts mehr erkennen lässt.

VII. Ueber eine Hornhaut, die drei Tage gereizt war, können wir schnell hinweggehen. Sie zeigt an senkrechten Schnitten am Hornhautrande nicht viel Eiter, am meisten in den höheren Schichten, in denen er auch am weitesten gegen die Mitte vordringt. Dann folgt eine Region, die in den untersten und obersten Schichten zuerst beginnt, in der wir dickere und allmählich dünner werdende Hornhautkörperchen und unter diesen manche vereinzelte Eiterkörperchen verfolgen können, in welche denn auch vom Centrum aus die Eiterbildung in den oberen Schichten vordringt. Am Faden ist das Gewebe dunkel, undurchsichtig, rissig und zerklüftet; Essigsäure hellt es nicht ganz auf. Auch hier finden sich unzählige Eiterkörperchen, die das Gewebe auseinander drängen. Der Faden selbst, der zum Theil in der vorderen Augenkammer lag, ist an seinen freien Stellen von einer faserigen oder granulirten, durch Essigsäure heller werdenden Masse umgeben, in welcher sich viele Eiterkörperchen finden.

VIII. Auf dem Höhepunkt der Entzündung angelangt ist eine Hornhaut sieben Tage nach Reizung; sie ist durchweg intensiv getrübt (S. oben 23). Sie wurde zuerst getrocknet.

Eine bedeutende Eiterbildung erstreckt sich fast über die ganze Hornhaut; in der Mittelzone ist sie am geringsten. In den Schichten an der Descemet'schen Haut unmittelbar unter dem Faden, der nicht bis zu dieser vordrang, ist noch keine Eiterbildung zu bemerken, sondern es finden sich daselbst nur dickere Hornhautkörperchen. In den obersten Schichten am Reizpunkt ist dagegen eine äusserst intensive Eiterbildung im Gange; das Gewebe wird fast ganz von Eiterkörperchen verdrängt. Die Entzündungen rücken sich also von der Peripherie und dem Reizpunkte aus entgegen und zwar von letzterem nur in den vom Faden getroffenen Schichten, von ersterer in allen. Das Gewebe hat, mit Ausnahme jener eiterfreien Stellen, ganz den Anschein von Fasern bekommen.

Auch hier ist die Entzündung an der Descemet'schen Haut unmittelbar unter der Durchtrittsstelle des Fadens am

geringsten; auch hier dringt sie von der Sclerotica und dem Reizpunkte her ein, so dass wir hier an Flächenschnitten der gekochten Hornhaut dieselben Formen zu erwarten haben, wie bei VI (S. 33) an der entsprechenden Stelle. Es sind auch in der That die Hornhautkörperchen noch zu erkennen mit ihren Ausläufern, deren Kreuzungsstellen manchmal knotig angeschwollen und dunkel erscheinen. Unter ihnen sind jene nadelförmigen Figuren ohne Verbindung mit jenen und die anderen bei VI (S. 33 u. 34) beschriebenen Formen zu bemerken. Gegen die peripherische Entzündung hin und an dieser selbst nehmen die Hornhautkörperchen ab und die in Reihen geordneten Eiterkörperchen zu; mit ihnen sieht man jene parallele Streifung entstehen, die sich über alle nicht eiterfreien Stellen erstreckt.

Dringt man am Hornhautrande zu den oberflächlichen Schichten vor, so sieht man auch hier jene Reihen noch in beträchtlicher gegenseitiger Entfernung und daneben noch viele vereinzelte Eiterkörperchen, die zu zwei oder drei mit ihrer Längsaxe parallel neben einander liegen; sie sind im Verhältniss zu denen in der Mitte ziemlich gross. In der Mittelzone nehmen die Eiterkörperchen ab, die Hornhautkörperchen tauchen dagegen wieder auf. An der Reizstelle selbst nehmen die Reihen der Eiterkörperchen so überhand, dass sie das Gewebe fast ganz verdrängen und unmittelbar aneinander liegen. Eine auffallende Bildung sind lange, dicke Stäbe, oft in grosse, eckige, unförmliche Stücke getheilt, von derselben Masse, wie es scheint, aus der der Kern der Eiterkörperchen besteht; sie rühren ohne Zweifel davon her, dass die Membran der Eiterkörperchen beim Kochen, das auf sie wie Essigsäure oder Wasser in längerer Zeit wirkt, verschwunden ist, und die zerfallenen, zwischen den Lamellen liegenden Kerne derselben durch das aufquellende Gewebe in jene Massen zusammengepresst sind. Daher finden sich auch diese Stäbe blos an Orten starker Entzündung. Neben ihnen sind noch unregelmässige Anhäufungen von Eiterkörperchen zu bemerken.

Anhang.

Als Anhang will ich noch eine Beobachtung anführen, welche ich gelegentlich bei vorstehenden Untersuchungen machte, die ich aber leider nicht zu Ende verfolgen konnte, da mir das Material zu bald ausging. Sie betrifft die Regeneration des Epithels. An dem oben S. 24 angeführten

Pferdeauge, dessen Schnitt in Heilung begriffen war, fand ich das Epithel weit in diesen hineingewuchert, bis es sich von beiden Seiten erreichte, in der Mitte des Schnitts über einen Hohlraum in der Tiefe desselben eine Brücke bildend; an seinen Enden füllte es ihn ganz aus. Die tieferen Schichten der Wucherung bestanden aus prächtigen, grossen, rundlichen oder ovalen, mit sehr scharfen und deutlichen Contouren versehenen Zellen, welche nach den oberen Schichten hin sich mehr abplatteten. In der Tiefe hatten sie den Durchmesser von 0,009—0,012‴. Die Kerne waren ohne Reagens nur in den unteren Schichten zu bemerken, traten jedoch bei Zusatz von Essigsäure in allen deutlicher hervor, während die Zellengrenzen verschwanden. Jene wurden grösser, nahmen unregelmässige Formen an; zwei Kerne in einer Zelle oder in Theilung begriffene sah man nirgends. Das ohne Reagens deutlich sichtbare, in den Schnitt gewucherte Epithel war von dem Gewebe der Hornhaut durch eine formlose, granulirte Masse getrennt, in der man ohne Reagens Nichts, weder Zellen, noch Kerne unterscheiden konnte. Bei Essigsäurezusatz dagegen traten Kerne deutlich hervor, die an Grösse die in den Zellen nicht übertrafen; ihre Form war oval und langgestreckt. Ob sie in Zellen lagen, ob frei in einer homogenen, granulirten Masse, kann ich nicht entscheiden, da die Essigsäure auch bei den übrigen Zellen die Grenzen verschwinden machte.

III. Zusammenfassung dieser Beobachtungen.

Ehe wir uns nun zu einer Vergleichung dieser Beobachtungen mit den früheren wenden, wollen wir noch einen zusammenfassenden Blick auf sie zurückwerfen.

Was die ersten pathologischen Veränderungen betrifft, so haben sie darüber kein sicheres Resultat ergeben. Wir haben dieselben Formen angetroffen, wie in der normalen Hornhaut, manche unregelmässige vielleicht etwas häufiger; allein im Ganzen waren dieselben doch zu unbedeutend, um schon sicher auf pathologische Veränderungen zu schliessen. Man könnte sie in ein Zerfallen des Inhalts und Kerns der Körperchen zusammenfassen.

Die erste bestimmt pathologische Veränderung ist die Fettausscheidung. Dies ist, wie ich glaube, durch die vorstehenden Beobachtungen festgestellt. Es scheint nur die Hornhaut Nr. II dagegen zu sprechen; allein das regelmässige Vorkommen dieses Processes im Anfang der Reizung an Stellen,

die entfernt von der Eiterbildung liegen (Nr. III, IV, V), in der frühesten Periode an dem Reizpunkte selbst (Nr. I), sein Fehlen an Stellen der Eiterbildung wird doch gegen diese eine negative Beobachtung sein Mitgehören zur Entzündung beweisen und die Ansicht widerlegen, dass er etwa zu den gewöhnlichen Fettbildungen, wie man sie auch in nicht entzündeten Hornhäuten häufig antrifft, zu rechnen sei. Wir finden ihn schon kaum 2 Stunden nach Reizung an dem Faden; er schreitet sehr schnell vorwärts und endet schnell, schon 24 Stunden nach starker Reizung. Ich fand das Fett in der Gegend an der Descemet'schen Haut durchschnittlich in grösserer Menge, als in den oberen Schichten. Vielleicht rührt dies daher, dass dasselbe durch das Hornhautgewebe zur vorderen Augenkammer vordringt und an dieser Membran wahrscheinlich einen grösseren Widerstand findet. Es ist dies, wie ich glaube, mit den Eitersenkungen zusammenzustellen, welche Rindfleisch makroskopisch als kleine verschleierte Punkte in der Hornhaut beobachtet hat, und die nicht mit den Eiterflocken in der vorderen Augenkammer, die ich oben S. 23 erwähnte, zu verwechseln sind; denn dagegen und überhaupt gegen die Ansicht, dass es Eitersenkungen seien, spricht ihr Vorkommen in der Mittelzone in den ersten Stadien der Entzündung; dies stimmt vielmehr mit meiner Deutung überein. Ob sich Fett wirklich in der vorderen Augenkammer findet, habe ich nicht untersucht; es ist vielleicht auch nur so wenig, dass es der Beobachtung leicht entgeht.

Vor diesem Process geht keine Eiterbildung vor sich; durch ihn bereitet sich letztere aber vor. Beide Vorgänge sind durch einen bedeutenden Zeitraum geschieden; denn während schon 24 Stunden nach Reizung (VI) sich keine Fettbildung mehr findet, sind noch nach 8 Tagen (VIII) manche Stellen ganz frei von Eiter. Leider lassen sich gerade die ersten Anfänge des Eiters nicht gut studiren, da die Eiterkörperchen durch das Kochen sowohl, wie durch Holzessig — denn man kann diese Verhältnisse fast nur von der Fläche beobachten — ihre charakteristischen Reactionen verlieren. Doch scheint Alles darauf hinzuweisen, dass sie aus den Hornhautkörperchen entstehen, die nicht ganz zu Fett werden, doch oft nach der Fettbildung ein kleineres Volum zu haben scheinen, als vorher. Dafür spricht deren Fehlen an den stärker vereiterten Stellen und ihr Vorkommen unter den Eiterkörperchen an Stellen schwächerer Entzündung, ein Umstand, der blos die Wahl übrig lässt, anzunehmen, entweder dass sie sich gänzlich aufgelöst haben und verschwunden sind, oder dass

sie zur Bildung des Eiters verwandt wurden. Für das Erstere liesse sich aus den vorliegenden Untersuchungen kein Grund anführen, für das Letztere aber das Dickerwerden der Hornhautkörperchen, welches der beginnenden Eiterbildung vorhergeht und die eigenthümlichen Formen, welche sich in der Region der beginnenden Eiterbildung finden und alle Glieder einer Reihe von Umbildungen der Hornhautkörperchen zu sein scheinen. Sie erleiden dabei eine chemische Umwandlung, deren sichtbarer Ausdruck die Fettausscheidung ist, und eine morphologische: Abrundung und Massenzunahme in die Dicke. Wo der Kern getheilt ist, da scheint sich jeder Theil zu einem Eiterkörperchen umzubilden; wo dies nicht der Fall ist — und oft scheint der früher getheilte Kern wieder zu einem Ganzen zusammengetreten zu sein — da bildet sich das ganze Hornhautkörperchen zu einem Eiterkörperchen um. Für diese Art der Eiterbildung sprechen diese Beobachtungen. Wie sich die Ausläufer dabei verhalten, weiss ich nicht sicher, doch ist ihre Rolle keinenfalls eine bedeutende; ich habe sie nur sehr wenig, vielleicht gar nicht an Volum zunehmen sehen; unter den Eiterkörperchen sind sie geschwunden und scheinen deshalb keinenfalls zur Fortleitung der Ernährungsflüssigkeit nothwendig zu sein.

Die Fortbildung des Eiters, nachdem das erste Eiterkörperchen sich erzeugt hat, geschieht sicher durch Theilung desselben.

Zugleich mit der stärkeren Eiterbildung beginnt auch eine Veränderung des Gewebes; sein faseriger Bau tritt jetzt deutlicher hervor; doch sieht man dies nur an Flächenschnitten gekochter Hornhäute oder an Chromsäurepräparaten; an senkrechten Schnitten bemerkt man manchmal eine Streifung und manchmal eine Punktirung, doch ohne Regel. An getrockneten Hornhäuten habe ich auch jetzt noch nicht den faserigen Zerfall der Lamellen beobachten können; letztere sind zwar immer undurchsichtig und rissig, doch Querschnitte der Fasern habe ich nur an der oben (S. 9) erwähnten Pferdehornhaut gesehen. Diesen Fasern folgt nun die Eiterbildung, welche in Reihen vor sich geht. Hierbei bleibt doch noch eins unerklärt; denn da das neu entstandene Eiterkörperchen an Volum gegen das frühere Hornhautkörperchen wahrscheinlich nicht oder doch nur sehr wenig zugenommen hat, so wäre zu erwarten, dass man besonders im Anfange der Entzündung drei, vier und mehr Eiterkörperchen neben einander sähe, deren Längsaxe nicht in derselben geraden Linie liegt, dass sich also zuerst in den Lücken grosse Eiteransammlungen fänden, was allerdings manchmal, doch nur selten vorzukommen scheint.

Sollte sich dies vielleicht in der That so verhalten und sollten die Eiterkörperchen nur durch das Anschwellen des Gewebes und die dadurch entstandene Pressung beim Kochen oder in Holzessig in die faserig zerfallenen Lamellen hineingedrückt worden sein, und sollten so jene Reihen entstehen? Damit stimmte die Beobachtung überein, dass an Hornhäuten, die man vorher im getrockneten Zustande untersucht hat, im gekochten bei weitem mehr Eiterkörperchen in den Lamellen liegen.

Die Eiterbildung schreitet der Fläche nach viel schneller voran, als in die Tiefe (VI, VIII), was auf sehr geringe, die Dicke der Hornhaut durchsetzende Communicationen in den Gegenden an der Descemet'schen Haut schliessen lässt.

Bei starker Eiterbildung dringen die Eiterkörperchen an den Oeffnungen, die der Faden veranlasst hat, hervor: an den Enden des Fadens, unter das Epithel oder in die vordere Augenkammer, oder sie drängen die Descemet'sche Haut von den locker mit ihr zusammenhängenden Lamellen ab und bilden daselbst eine bedeutende Ansammlung (IV).

Mit der Eiterbildung geht zugleich auch eine grössere Zufuhr der Ernährungsflüssigkeit nach dem gereizten Punkte hin vor sich. Dass dies nothwendig der Fall sein muss, ergiebt sich aus der einfachen Beobachtung, dass die Eiterkörperchen zusammen an Masse die ursprünglichen Hornhautkörperchen bei weitem übertreffen; ich erinnere nur an die starken Eiteransammlungen in der vorderen Augenkammer. Dass es in der That der Fall ist, wird durch die Beobachtung bewiesen, dass die Gefässe der Conjunctiva und Sclerotica sich röthen und anschwellen, dass die entzündeten Hornhäute zum Trocknen längere Zeit brauchen, als normale, was natürlich bei stark entzündeten am deutlichsten hervortritt; so fand ich die Hornhaut Nr VIII erst in 20 Stunden getrocknet, während die andere gesunde desselben Thieres in 3 Stunden vollständig trocken war; auch die schleimige Masse, die den Faden durchtränkt, beweist unsere Ansicht. Wann die Vermehrung der Zufuhr beginnt, ist nicht genau zu entscheiden; man kann schon jenen hellen Saum, der im Anfange der Entzündung Membran und Inhalt trennt, darauf deuten; allein die Unbeständigkeit desselben, die Fettausscheidung und das kleine Volum der Körperchen nach dieser möchte wohl dagegen sprechen. Ein grösserer Verbrauch von Ernährungsmaterial scheint zuerst bei der eigentlichen Eiterbildung stattzufinden, bei den Umbildungen der Hornhautkörperchen, ihrem Anschwellen und der Weiterbildung des Eiters. Dem entsprechend sieht man auch erst später, nachdem im Centrum

schon eine leichte Trübung entstanden ist und kurz bevor sie am Hornhautrande auftritt, die Gefässe eine deutliche Anschwellung erleiden.

IV. Vergleichung mit den früheren Untersuchungen.

Es wäre nun noch meine Aufgabe, meine Resultate mit den früheren Beobachtungen zu vergleichen, wobei mir noch manchmal Gelegenheit gegeben sein wird, Gründe für meine Anschauungsweise anzuführen.

Schon für die ersten Stadien der Entzündung weichen His' Ansichten von den meinigen ab. Jener lässt die ersten Veränderungen viel grösser erscheinen, als sie in der That sind. Der Grund dazu liegt, wie wir sahen, in jenem Suchen nach Schemata, das sich in seiner Beschreibung der normalen Hornhautkörperchen und dem Netz ihrer Ausläufer deutlich zeigt. Dadurch entstand eine Unterschätzung der Schwierigkeiten, welche der Beurtheilung pathologischer Veränderungen im Wege stehen, und diese mag auch nicht ohne Einfluss auf den übrigen Theil seiner Arbeit gewesen sein. Die Abhebung der Membran vom Inhalt und die Theilung des letzteren, auf die His grosses Gewicht zu legen scheint, konnte ich nicht so gut bemerken; aber schon Henle hat dies auf eingedrungenes Wasser und Zerfallen des Kerns gedeutet. Ich habe bemerkt, dass man dergleichen auch an der normalen Hornhaut bemerkt; übrigens sollte man sie für eine pathologische Erscheinung halten, so darf man nicht vergessen, dass sie nur schnell vorübergehend und unbeständig ist. — Die Fettausscheidung ist His entgangen.

Dagegen beginnt eine sehr bedeutende Differenz zwischen His und mir in den weiteren Stadien der Entzündung am Rande und im Centrum der Hornhaut. His sieht im Centrum Kerne in den Ausläufern entstehen; am Rande vergrössern sich die Hornhautkörperchen und bilden endogene Zellen, „die an frischen Objecten grau granulirt sind und wie frische Schleim- und Eiterkörperchen aussehen." (His, S. 84. Anmerkung.) Diese ganze Ansicht, auf die dann eine Theorie von der Entzündung in der Nähe der Gefässe und in der Entfernung von ihnen gegründet wird, deren wichtigster Satz der ist „dass die Kerntheilung eine Thätigkeit der Zelle ist, womit diese ganz unabhängig vom Gefässeinflusse auf die Einwirkung der Noxe reagirt, wogegen die Vergrösserung der Zelle in einem Abhängigkeitsverhältniss zur Materialzufuhr

aus benachbarten Gefässen steht"*) — diese ganze Ansicht wird durch den Anblick eines senkrechten Schnittes einer getrockneten, entzündeten Hornhaut vollständig widerlegt; ein solcher zeigt, dass die Entzündungen am Centrum und an der Peripherie sich nur in der Stärke und nicht in der Art unterscheiden. Dass die erweiterten Ausläufer in Tab. III. 3 ebenso wenig als die bei Förster (Tab. XXXIII. 3) abgebildeten den normalen Ausläufern in Tab. I. 8 entsprechen, ist wohl nicht sehr schwer einzusehen. Auch ist His den Beweis, dass diese Zellen wirklich endogen sind, schuldig geblieben; um daran zu zweifeln, war er viel zu sehr von der physiologischen Bedeutung des Röhrensystems der Körperchen und Ausläufer überzeugt. Ich wüsste nicht, wie sich mit dieser endogenen Zellenbildung die zahlreichen vereinzelten Eiterkörperchen besonders im Anfange der Eiterbildung vereinigen liessen.

Ganz anders verhält sich nach His die Entzündung im Centrum; hier entstehen Kerne in den Körperchen und besonders in den Ausläufern; doch auch hier hat er nicht bewiesen, dass die Reihen der Kerne wirklich in den Ausläufern liegen. Die zahlreichen Gründe, die gegen diese Ansicht sprechen, will ich aus meinen Beobachtungen hier zusammenstellen. In erster Linie steht die vollständige parallele Richtung dieser Reihen in derselben Ebene; sie kreuzen sich nur in verschiedenen Ebenen und zwar meist unter sehr spitzen Winkeln, während die Kreuzungswinkel der Ausläufer in der Regel von einem rechten nicht viel abweichen. Man sieht aber zudem nichts von Communicationen zwischen den sich kreuzenden Reihen. Ferner: wo die Eiterbildung nicht so weit vorgeschritten ist, liegen die Reihen nicht sehr dicht, ohne dass sich zwischen ihnen eine Spur von präexistirenden Ausläufern nachweisen liesse; wo aber die Eiterbildung stark ist, liegen die Reihen so dicht nebeneinander, wie die Ausläufer in der gesunden Hornhaut niemals oder nur an sehr wenigen Stellen. Dafür aber, dass das, was wir bisher als Eiterkörperchen beschrieben, wirklich solche sind, sprechen ihre Reactionen auf Essigsäure, ihre Ansammlungen unter dem Epithel, an der Descemet'schen Haut, in der vorderen Augenkammer. Selbst aus His' eignen Beobachtungen, wenn wir seine Theorie, dass die Ausläufer die Ernährungsflüssigkeit leiteten, zu Hilfe nehmen, können wir die Richtigkeit unserer Ansicht beweisen. Denn bei der bedeutend vermehrten Zufuhr der letzteren müssten eigentlich die Ausläufer erweitert sein;

*) His, S. 112.

allein, massiv und regelmässig im normalen Zustande, werden sie schon 18 Stunden nach Reizung (Tab. IV. 2) sehr unregelmässig, anastomosiren nicht mehr alle und sind schon viel feiner; noch unregelmässiger, aber allerdings etwas breiter sind sie später (Tab. IV. 4); bei der stärksten Entzündung aber (Tab. IV. 5) schrumpfen sie zu ganz feinen Linien zusammen und kreuzen sich in allen Richtungen, obgleich man nirgends eigentlich Anastomosen sieht. Dass die letzte Figur jenen von uns beschriebenen und abgebildeten Reihen der Eiterkörperchen entspricht, nur mit dem Unterschiede, dass von His die Reihen ganz verschiedener Schichten — ein oft leicht möglicher Irrthum — in dieselbe Ebene verlegt sind, das ist, glaube ich, fast überflüssig zu bemerken.

Etwas verschieden sind die Theorien, die Förster und Rindfleisch von dem Fortgange des Eiterungsprocesses aufstellen. Für den Anfang sind sie mit His wohl einverstanden; Förster nimmt die endogene Zellenbildung am Hornhautrande an, Rindfleisch spricht sich darüber nicht aus. Der Hauptunterschied zwischen His und ihnen ist darin begründet, dass sie die Untersuchungen über die centrale Entzündung blos an senkrechten Schnitten studirt haben; sie erhalten hier lange Reihen kugliger Kerne oder „die Hornhautkörperchen zu Schläuchen erweitert und mit Kernen erfüllt." Um diese Kerne schnürt sich später die Zellenmembran ab, und „so werden die Eiterzellen gebildet, welche dann frei werden." Man kann diese Reihen und Ansammlungen von diesen sogenannten Kernen in Zellen an jeder stark entzündeten getrockneten Hornhaut studiren; man sieht aber keine Zellmembran, die die Kerne umgiebt, auch keine Kerne in diesen nicht vorhandenen Zellen, sondern man sieht vielmehr, dass diese Kerne von ihrem ersten Auftreten an Eiterkörperchen sind, so dass das spätere Abschnüren der Zellmembran überflüssig erscheint. Rindfleisch will diese Schläuche isolirt haben; dies möchte jedoch auf einer Täuschung beruhen. Er stellt sie so gross dar, dass sie bei einem für die mikroskopische Untersuchung geeigneten feinen Schnitte an beiden Seiten desselben geöffnet werden müssten, so dass bei Isolationsversuchen, wenn sie nicht falsch angestellt sind, die Eiterkörperchen frei herumschwimmen und ein Theil der Membran leer in der Flüssigkeit sich befinden müsste. Von der Grösse dieser Schläuche kann man sich durch die Bilder beider Autoren überzeugen. Sie sind in der That so gross, dass man nur die Wahl hat, anzunehmen, entweder, falls jeder aus nur einem Hornhautkörperchen entstanden sein sollte, dass nur einzelne,

gewissermassen bevorzugte Hornhautkörperchen sich zu solchen Schläuchen entwickeln und die übrigen Körperchen verdrängen, was wohl etwas unwahrscheinlich sein möchte, oder dass die Membranen der benachbarten, zu Schläuchen auswachsenden Hornhautkörperchen mit einander verschmelzen, um sich später um die einzelnen Kerne wieder abzuschnüren, was vielleicht auch nicht gut annehmbar ist.

Für die grossen Mutterzellen mit zerfallener, endogener Brut, die Förster abbildet, und die wohl einem späteren Stadium der Entzündung angehören, als die von mir untersuchten Hornhäute, giebt er sogar bei mancher das Fehlen einer besonderen Membran zu. Dies möchte vielleicht auch über die anderen Mutterzellen mit noch nicht zerfallener, endogener Brut einigen Aufschluss geben; und wir können sie als die erweiterten Interlamellarlücken bezeichnen, die in der normalen Hornhaut wirklich vorkommen.

Aus Wedl's Atlas lässt sich eine Theorie nicht entnehmen; denn einerseits ist der Text zu prägis, die Präparationsmethoden sind nicht erwähnt, und nur selten ist angegeben, ob die Abbildungen senkrechte oder Flächenschnitte darstellen; anderntheils enthalten die Tafeln viel Widersprechendes, ohne dass der Text dies aufzulösen versucht. So hält Wedl in Fig. 6 die strahligen Räume nicht für Zellen, obgleich sie, dreimal stärker vergrössert, doch nicht grösser sind, als in Fig. 5. Endogene Kern- und Zellenwucherung kommen ebenso vor, wie Eiterbildung in der von uns beschriebenen Weise (Fig. 21) und nicht endogene Zellen- und Kernwucherung (Fig. 10 und 11?). Doch ein wichtiges, neues Moment, das bis jetzt noch von allen Forschern ausser Acht gelassen war, tritt bei Wedl hervor: die Bewegung der Zellen. Die vergrösserten, mit endogener Brut erfüllten Hornhautkörperchen „durchsetzen in ungeregelter Lage und ungeordneten Zügen das Parenchym derartig, dass die Structur der Hornhaut nicht mehr zu erkennen ist. Statt einen gewissen Parallelismus mit der Oberfläche einzuhalten, oder genauer ausgedrückt sich unter bestimmten, sehr spitzen Winkeln abzuzweigen, gehen von den benannten Zügen Aeste unter einem grösseren Winkel bis zu einem rechten ab. Es wird hierdurch eine dendritische Vertheilung der Züge angebahnt. Die zwischen den letzteren befindlichen Hornhautzellen nehmen alle denkbaren Stellungen ein" (Fig. 5.)

Am Schlusse dieser Arbeit kann ich nicht umhin, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Hofrath Henle, für die Güte und Freundlichkeit, mit der er mich bei diesen Untersuchungen unterstützte und mir die Präparate der hiesigen Anatomie zu diesem Zwecke überliess, meinen innigsten Dank zu sagen.

Erklärung der Abbildungen.

Fig. 1. Hornhautkörperchen vom Ochsen. Flächenschnitt einer gesunden, gekochten Hornhaut. 700 mal vergrössert.

Fig. 2. Zellen aus der Hornhaut eines $1^1/_2$ zölligen Rindsfötus. 450 mal vergrössert.

Fig. 3. Zellen aus der Hornhaut eines $2^1/_2$ zölligen Rindsfötus. 450 mal vergrössert.

Fig. 4. Hornhautkörperchen aus den tieferen Schichten einer gekochten Hornhaut eines Neugebornen. 450 mal vergrössert.

Fig. 5. Gefässe vom Rande einer Schafshornhaut, die in saurem chromsauren Kali erhärtet war. 50 mal vergrössert.

Fig. 6. Flächenschnitt der Hornhaut Nr. V. 24 Stunden nach Reizung. Region der beginnenden Eiterbildung zwischen Reizpunkt und Fettausscheidung (S. 31). 700 mal vergrössert.

Fig. 7. Flächenschnitt der Hornhaut Nr. VIII. 7 Tage nach Reizung. Gegend an der Descemet'schen Haut, geringe Eiterbildung (S. 36). Vergrösserung: 450.

Fig. 8. Flächenschnitt derselben Hornhaut; stärkere Eiterbildung; die Reihen der tieferen Schichten, welche die im Focus befindlichen kreuzen, sind der Deutlichkeit wegen weggelassen. Vergrösserung: 450.

Fig. 9. Senkrechter Schnitt der Hornhaut Nr. III. Beginnende Eiterbildung. Vergrösserung: 450.

Fig. 10. Senkrechter Schnitt der Hornhaut Nr. VI. getrocknet. Starke Eiterbildung. Vergrösserung: 450.

Fig. 11. Senkrechter Schnitt derselben Hornhaut, gekocht. Starke Eiterbildung. Die Eiterkörperchen liegen in den Lamellen. Vergrösserung: 450.

Untersuchungen
über die Verdauung der Eiweisskörper.

Nr. IV.

Von

G. Meissner und **C. Büttner.**

(Fortsetzung der gleichnamigen Untersuchungen Nr. I—III im VII., VIII. und X. Bande dieser Zeitschrift.)

Gegenstand der hier mitzutheilenden Untersuchungen ist der Blutfaserstoff, das Fibrin.

In der ersten Abtheilung dieser Untersuchungen (VII. p. 6) wurden zwar schon beiläufig die Veränderungen des Fibrins bei der Verdauung mit künstlichem Magensaft erwähnt, nachdem sich damals bei einigen vorläufigen Versuchen so viel herausgestellt hatte, dass das Fibrin sich im Allgemeinen ganz analog den übrigen Eiweisskörpern verhält. Indessen eine genauere sorgfältige Untersuchung war natürlich nothwendig, und dieses zumal, nachdem sich später beim Syntonin und Casein ganz neue Gesichtspunkte ergeben hatten. Die Erfahrungen, welche bei der Untersuchung des Albumins gewonnen wurden, lieferten eine Basis, von der aus das Syntonin und das Casein darauf sorgfältiger und genauer bearbeitet werden konnten und mussten, und dabei wurden neue Erfahrungen gemacht, welche eine erneuete Untersuchung des Albumins nothwendig machten, mit der Herr Thiry im hiesigen physiologischen Institut beschäftigt ist. Auch der Untersuchung des Fibrins kamen die bei den genannten anderen Eiweisskörpern gemachten Erfahrungen zu Gute, und wir konnten wiederum einen Schritt weiter vordringen. Das Neue, was wir ausser dem dem Verhalten anderer Eiweisskörper Analogen mitzutheilen haben, darf somit nicht etwa als etwas dem Fibrin Eigenthümliches sofort angesehen werden, vielmehr ist es wahrscheinlich (zum Theil sicher), dass eine erneuete Untersuchung der übrigen Eiweisskörper von diesen

neuen Gesichtspunkten aus wiederum das Analoge ergeben wird. Einer Entschuldigung wegen dieses Umstandes, dass jede Fortsetzung diese Rückwirkung auf die vorhergehenden Abschnitte der Untersuchung ausübt, wird es nicht bedürfen; denn man wird sehen, dass es sich dabei nicht sowohl um Berichtigung irrthümlicher Angaben, als vielmehr um Eindringen in feineres Detail handelt.

Die folgenden Versuche wurden zum Theil mit Fibrin aus Rindsblut, zum Theil mit solchem aus Schweinsblut angestellt, welche beide sich durchaus gleich verhielten. Es ist, wie bekannt, sehr schwer, die durch Schlagen des Blutes gewonnenen Fibrinflocken von anhaftenden und eingeschlossenen anderen Blutbestandtheilen zu reinigen. Der Eine von uns bedient sich jedoch schon seit längerer Zeit eines Verfahrens, welches ein reines Fibrin in verhältnissmässig kurzer Zeit liefert. Das Blut muss sofort beim Ausfliessen stark geschlagen werden, so dass man Flocken erhält, welche nicht im Innern viel andere Blutbestandtheile einschliessen, was man bei der folgenden Waschung alsbald erkennt. Nachdem die Flocken durch einen anhaltenden Wasserstrahl einigermassen abgespült sind, werden sie im Wasser schwimmend mit einer Scheere zerschnitten, je feiner, desto besser; nach nochmaligem Abspülen mit Wasser werden dann die Flocken in einer Schale mit viel destillirtem Wasser übergossen, welchem einige Tropfen Ammoniakflüssigkeit zugesetzt werden. Die Menge des Ammoniaks soll so gering sein, dass nach gehöriger Mischung kein Aufquellen der Flocken stattfindet. War das Blut gut geschlagen und die Flocken fein geschnitten, so findet man am andern Tage das Fibrin nach dem Abgiessen des Waschwassers, Abspülen und Auspressen ganz weiss, wie man es durch Waschen mit Wasser niemals erhält. Als Beleg für die Reinheit des so extrahirten Fibrins kann auch angeführt werden, dass dasselbe, in Wasser suspendirt, keinesweges so leicht in Fäulniss übergeht, wie das nur mit Wasser gewaschene Fibrin; bei letzterem wird die Fäulniss durch die im Wasser löslichen und nur sehr langsam extrahirten Blutbestandtheile eingeleitet.

Zu den Versuchen kann man nun entweder diese mit verdünntem Ammoniak gewaschenen Fibrinflocken unmittelbar verwenden oder aber das aus schwach salzsaurer Lösung durch Neutralisation gefällte Fibrin. In verdünnter Salzsäure, welche 0,2% HCl enthält, lösen sich jene Fibrinflocken nur sehr langsam bei einer Temperatur von etwa 40° C.; dagegen rasch bei Digestion auf dem Wasserbade, also in einer Temperatur

nahe dem Siedepunkte. Die Lösung muss filtrirt werden, weil die Fibrinflocken mit allerlei unlöslichen fremden Körpern, die beim Auffangen und Schlagen des Blutes hineingelangten, verunreinigt sind. Neutralisirt man die bräunliche stark trübe Lösung, so erhält man das Fibrin als feinen Niederschlag ausgefällt, von welchem sich die Flüssigkeit mit gelösten Salzen u. s. w. rasch abfiltriren lässt, und welcher mit Wasser gewaschen werden kann. Das Fibrin wird dann mit Alkohol extrahirt, hauptsächlich zur Entfernung des Wassers, und endlich mit Aether, worauf man, nöthigenfalls nach Zerreiben in der Reibschale, ein höchst feines graues Pulver erhält, leicht so fein, dass man durch den davon fliegenden Staub erheblichen Verlust erleidet. Das so präparirte Fibrin bietet gegenüber dem rohen Material nicht nur den Vortheil dar, dass es reiner ist, sondern namentlich auch den, dass es den Einwirkungen von Magensaft und kochendem Wasser eine sehr viel günstigere Form darbietet, so dass die Versuche mit pulverförmigem Fibrin rascher beendet sind, als die mit flockigem Fibrin. Wir haben jedoch die Hauptversuche, die natürlich mit möglichst grossen Mengen, wie bei allen Eiweisskörpern, angestellt werden müssen (da sonst das Material für die zahlreichen nothwendigen Versuche unter den Händen verschwindet) mit dem in obiger Weise gewaschenen rohen Fibrin angestellt und nur nachträglich auch Controlversuche mit dem präparirten Fibrin gemacht, dessen Darstellung in grösserer Menge immerhin etwas kostspielig ist.

Nach den Resultaten der früheren Untersuchungen über Albumin, Casein und Syntonin war es die Aufgabe, die Spaltung zu untersuchen, welche das Fibrin erstens bei der Digestion mit künstlichem Magensaft, zweitens beim Kochen mit destillirtem Wasser erleidet.

Der künstliche Magensaft wurde ebenso bereitet und war ebenso zusammengesetzt, wie bei den früheren Versuchen, verdünnte Salzsäure, die 0,2% HCl enthielt und einige Cubikcentimeter einer concentrirten, vom Amylum abfiltrirten Lösung des Pepsins. — Digerirt man zwei gleiche Mengen Fibrin mit der gleichen Salzsäure (0,2%) in gleicher Menge, die eine mit Pepsinzusatz, die andere ohne denselben, bei 40°, so zeigt sich alsbald der bedeutende Unterschied zwischen der Wirkung der Salzsäure und der der Chlorpepsinwasserstoffsäure*):

*) Wir gebrauchen diesen Ausdruck mit Rücksicht auf die in Nr. II dieser Untersuchungen p. 286—288 mitgetheilte Beobachtung, ohne die Richtigkeit der Ansicht, für welche jene Beobachtung sehr entschieden zu sprechen scheint, schon für durchaus bewiesen zu halten.

erstere löst im Laufe von 12 Stunden kaum merkliche Mengen des Fibrins bei jener Temperatur, letztere hat fast Alles aufgelöst. Lässt man die Verdauung so lange fortgehen, bis sämmtliche Fibrinflocken verschwunden sind und nur der anhaftende unlösliche Schmutz (Haare, Sand) am Boden liegt, so ist dennoch die Flüssigkeit nichts weniger als eine klare Lösung, und zu einer solchen wird sie, so scheint es nach den bisherigen Versuchen, auch nie, so lange und gründlich man auch den Verdauungssaft einwirken lässt: vielmehr ist die bräunliche Flüssigkeit stark getrübt von einem sehr feinen Niederschlage, welcher sich bei ruhigem Stehen kaum merklich zu Boden setzt, und dessen relative Menge trotz der starken Trübung, die er verursacht, nur sehr gering ist. Dieser Niederschlag verhält sich fast wie eine feine in der Flüssigkeit vertheilte Gallert, welche beim Filtriren das Filter alsbald so verstopft, dass zuletzt Nichts mehr abläuft. Bisher waren alle Versuche, diesen Niederschlag in brauchbarer Menge zu isoliren vergeblich, und wir können nur so viel sagen, dass der Körper sowohl in verdünnten Säuren, wie Alkalien sehr schwer löslich, im Wasser unlöslich ist. (Siehe den Nachtrag.) Der Beschaffenheit des Niederschlages nach hat man sich nicht vorzustellen, dass dieser Körper etwa nur ein Ueberbleibsel von den Fibrinflocken vorstelle, vielmehr entsteht der Niederschlag während mit dem übrigen Theile des Fibrins die eigenthümlichen Veränderungen vor sich gehen, welche zu der Spaltung in Parapepton und Peptone führen; somit scheint es, als ob jener unlösliche Körper selbst auch ein Product dieser Spaltung sein möchte, und dann würde er im Allgemeinen das Analogon des bei der Spaltung des Caseins auftretenden Dyspeptons sein; doch halten wir es für nöthig, diese allerdings nahe liegende Vermuthung erst noch durch weitere Untersuchungen demnächst zu prüfen.

Um nun rasch eine gehörige Menge der Verdauungslösung zu erhalten, welche, wie gesagt, alsbald sehr langsam abfiltrirt, ist es nothwendig, durch mehre Filter zugleich zu filtriren und die Filter oft zu wechseln. Die ablaufende Lösung ist gelbbraun und stark opalisirend. In derselben findet man eine Anzahl verschiedener stickstoffhaltiger, amorpher Körper, Spaltungsproducte des Fibrins, welche sich durch ihre Löslichkeitsverhältnisse, wie bei den anderen Eiweisskörpern, scharf von einander unterscheiden und auch bei gehöriger Sorgfalt gut von einander trennen lassen.

Indem wir zunächst die verschiedenen in Lösung befindlichen Körper kurz aufzählen und angeben wollen, wie sie

der Reihe nach dargestellt werden können, mag die Bemerkung vorausgeschickt werden, dass die Sache im weitern Verlauf nicht so complicirt bleiben wird, wie sie vielleicht zunächst rücksichtlich der Zahl der verschiedenen Körper erscheinen mag, indem sich herausstellen wird, dass ein Theil der aufzuführenden Körper nur Uebergangsstufen sind, die man jedoch immer antreffen wird, wenn man nicht mit besonderer Absicht die Verdauung sehr lange Zeit hat fortgehen oder sehr energisch hat wirken lassen, und die auch ihr besonderes Interesse haben.

Neutralisirt man die erkaltete saure Verdauungslösung ganz genau, so erhält man einen gelblichen flockigen Niederschlag: dieser besteht aus dem Parapepton des Fibrins und gewöhnlich aus unverdauetem, d. h. nur gelöstem aber noch nicht gespaltenen Fibrin, worauf wir unten zurückkommen. Eine farblose aber gewöhnlich auch noch opalisirende neutrale Lösung lässt sich gut abfiltriren. Macht man diese Lösung mit Hülfe irgend einer beliebigen der gewöhnlich gebrauchten verdünnten Säuren schwach sauer, so dass die Flüssigkeit etwa so viel freie Säure enthält, wie 0,04 % wasserfreier Essigsäure entspricht, so entsteht ein feiner weisser Niederschlag, der im Ueberschuss der Säure, und zwar schon bis zu 0,2%, sich wieder löst: dies ist das Metapepton des Fibrins, das Analogon zu dem gleichnamigen Körper aus dem Casein und Syntonin. Dies Metapepton fällt übrigens aus verdünnter Lösung nach dem richtigen Ansäuern nicht ganz vollständig sogleich, ein Theil scheidet sich erst nachträglich beim ruhigen Stehen ab. Ist dies geschehen, so läuft beim Filtriren eine nun ganz wasserhelle farblose Flüssigkeit ab. Erwärmt man diese entweder so wie sie ist, schwach sauer, oder nachdem man sie neutralisirt hat, auf dem Wasserbade, so scheidet sich abermals in weissen gröberen Flocken ein Niederschlag ab: dies ist nicht etwa ein Rest des Metapeptons, sondern wiederum ein besonderer Körper, dem wir aber keinen Namen geben (bei anderen Eiweisskörpern wurde von diesem Körper bisher Nichts beobachtet), weil derselbe nur eine Uebergangsstufe bildet, bei weiterer Einwirkung des Verdauungssaftes in Pepton verwandelt wird. Das wasserklare Filtrat, welches von diesem durch Erhitzen gerinnenden Körper leicht abläuft, ist endlich die reine Peptonlösung, sofern der allgemeine Charakter der Peptone darin besteht, dass es zur Gruppe der Eiweisskörper gehörende Substanzen sind, welche sowohl im reinen Wasser, heiss oder kalt, als auch in saurem Wasser und verdünnten Säuren, so wie in Alkalien leicht löslich sind. Aber diese

Peptonlösung ist nicht so einfach beschaffen, wie bisher von dem Analogon anderer Eiweisskörper angenommen wurde und wie wir daher auch anfänglich vermutheten, sondern eine sorgfältigere Prüfung ergiebt, dass jene Peptonlösung vom Fibrin drei wohl unterschiedene Arten Pepton enthält, welche wir als a-, b-, c-Pepton bezeichnen wollen.

Alle diese eben aufgeführten Körper treten in solchen relativen Mengen auf, dass man nicht etwa um der Einfachheit oder Uebersichtlichkeit willen den einen oder andern derselben vorläufig unberücksichtigt lassen könnte. Aber zwei der aus der Verdauungslösung fällbaren Körper sind, wie schon bemerkt, nur Uebergangsstadien zu Peptonen, nämlich das Metapepton und der beim Erhitzen in der neutralen oder schwach sauren Lösung coagulirende Körper; definitive (lösliche) Spaltungsproducte des Fibrins sind das Parapepton und die drei Peptone, dies wenigstens ist das Ergebniss unserer bisherigen Versuche. — Wir wollen zunächst das Verhalten dieser vier definitiven Spaltungsproducte beschreiben.

Das Parapepton des Fibrins verhält sich ganz ähnlich dem gleichnamigen Spaltungsproduct anderer Eiweisskörper, und es ist jetzt möglich, eine Definition der Parapeptone im Allgemeinen zu geben, die nach den Eigenschaften eines beim Albumin, Casein, Syntonin und Fibrin auftretenden Spaltungsproductes sich folgendermassen formulirt: das Parapepton ist das im reinen und im salzhaltigen Wasser, heiss und kalt, unlösliche, in verdünnten Säuren (von 0,05% Gehalt etwa an) und in Alkalien lösliche Spaltungsproduct, welches aus schwach saurer Lösung durch die Salze der Alkalien sowohl wie durch die Salze der Erden gefällt wird und nach seinen allgemeinen Eigenschaften, seinem Stickstoffgehalt, nach seinem Verhalten zu concentrirter Salpetersäure, zu Millon's Reagens, zu Gerbsäure in die Gruppe der Eiweisskörper gehört. Durch die angegebenen Eigenschaften ist das Parapepton hinlänglich charakterisirt und von den übrigen sowohl definitiven als nicht definitiven Spaltungsproducten unterschieden.

Das aus der sauren Verdauungslösung durch genaue Neutralisation gefällte Parapepton des Fibrins bildet auf dem Filter gesammelt und mit Wasser gewaschen eine braune ziemlich schmierige Masse; die Menge ist relativ klein, kleiner als die bei der Spaltung des Albumins auftretende Parapeptonmenge. In verdünnten Säuren löst sich das Parapepton zu einer opalisirenden Lösung; stumpft man die Säure möglichst ab, wir wollen Essigsäure als Lösungsmittel annehmen, so

wird es beim Erhitzen nicht ausgeschieden, vielmehr klärt sich die stark opalisirende Lösung; Fällung tritt ein mit concentrirten Lösungen neutraler Alkalisalze, mit concentrirten Lösungen von schwefelsaurer Magnesia, salpetersaurem Baryt, Chlorbaryum, Chlorcalcium, ferner mit schwefelsaurem Kupferoxyd, salpetersaurem Quecksilberoxydul, Quecksilberchlorid, basisch essigsaurem Bleioxyd, Ferrocyankalium und Ferridcyankalium, salpetersaurem Silberoxyd, mit Gerbsäure. Das Verhalten zu absolutem Alkohol ist nicht leicht sicher festzustellen. Wir haben gesehen, dass man die saure Parapeptonlösung bis zu einem äusserst kleinen Gehalt an freier Säure abstumpfen kann, der unmittelbar vor dem Ausfällen des Parapeptons liegt und bei dem die Lösung schon sehr stark trübe wird, bei diesem minimen Säuregrad bewirkt absoluter Alkohol Fällung. Ist aber die Lösung nur wenig saurer, immer aber auch noch opalisirend, so bewirkt absoluter Alkohol keine Fällung, vielmehr klärt sich die Lösung. Hiernach würde man also wohl sagen können, dass das Parapepton in reinem starken Alkohol und Weingeist unlöslich ist, dagegen löslich in starkem Alkohol, der schwach angesäuert ist. Aus schwach alkalischer Lösung wird das Parapepton jedenfalls leichter gefällt durch absoluten Alkohol, d. h. es muss der Gehalt an freiem Alkali schon bedeutender sein, wenn Alkoholzusatz keine Fällung bewirken soll. Früher wurde von den Parapeptonen anderer Eiweisskörper, namentlich des Albumins, angegeben, dass sie durch Alkohol aus möglichst schwach saurer Lösung gar nicht gefällt würden; ob hier übersehen wurde, dass man allerdings einen ausserordentlich kleinen Säuregehalt erreichen kann, bei dem Alkohol Fällung bewirkt, oder ob das Parapepton des Fibrins sich anders in dieser Beziehung verhält, als andere Parapeptone, muss bei späteren Untersuchungen entschieden werden.

Der Beweis, dass das Parapepton trotz aller Aehnlichkeit der Reactionen mit denen ursprünglicher Eiweisskörper, ein Spaltungproduct, nicht ein Rest von noch ungespaltenem, unverändertem Fibrin ist, liegt hauptsächlich darin, dass das Parapepton durch noch so lange fortgesetzte Einwirkung desselben künstlichen Magensaftes, durch dessen Einwirkung auf Fibrin es entstand, nicht weiter verändert, speciell nicht in Pepton verwandelt wird. Für das Parapepton des Albumins wurde dies früher (Nr. II dieser Untersuchungen) durch eine Anzahl quantitativer Bestimmungen bewiesen. Wir haben es nicht versäumt, derartige Versuche auch mit dem Parapepton des Fibrins anzustellen, dies war, wie sich herausstellte, be-

sonders nothwendig, weil man durch Uebersehen eines Umstandes hier leicht in einen Irrthum gerathen könnte.

Wenn wir die Verdauung des Fibrins etwa 12 Stunden hatten fortgehen lassen, dann die saure Lösung neutralisirten und den Niederschlag gehörig gewaschen für sich allein mit einer neuen Portion künstlichen Magensaftes digerirten, so fand sich nach weiteren 12 Stunden allerdings wieder ein Niederschlag bei der Neutralisation, aber in der neutralen Lösung fanden sich auch Peptone. Würde man sich mit diesem Versuche begnügen, so würde man schliessen, dass das nach der ersten zwölfstündigen Digestion ausgefällte Parapepton durch die zweite zwölfstündige Digestion weiter verwandelt, zum Theil in Peptone verwandelt sei. Man muss aber wohl berücksichtigen, dass durch Nichts bewiesen ist, dass der nach erster zwölfstündiger Digestion bei Neutralisation erhaltene Niederschlag reines Parapepton ist, denn es kann eine Mischung von Parapepton und unverändertem, nur gelösten Fibrin sein; dass letzteres dann bei weiterer Digestion Peptone liefert ist natürlich ganz in der Ordnung. Es ist nun in der That so: beachtet man die Menge des bei der Neutralisation der sauren Verdauungslösung ausfallenden Niederschlages, so bemerkt man, dass dieselbe immer mehr abnimmt, je länger man die Digestion fortsetzt, bis zuletzt keine Abnahme mehr erfolgt; giebt man dann diesen definitiven Niederschlag, der nun reines Parapepton ist, in Verdauung für sich, so bleibt er unverändert, und es treten keine Peptone auf. Das Fibrin wird durch die Chlorpepsinwasserstoffsäure bei 40^0 zuerst gelöst, was sehr rasch vor sich geht; aber die Verdauung, d. h. die Spaltung geht nicht ebenso schnell vor sich, sondern sehr viel langsamer, so dass man dann, wenn eben alle Flocken in Lösung gegangen sind, durch Neutralisation noch viel unverändertes Fibrin mit ausfällt, dasselbe, welches man durch Neutralisation der auf dem Wasserbade bewirkten rein salzsauren Fibrinlösung erhält. Beiläufig wollen wir bemerken, dass man bei einiger Uebung und Aufmerksamkeit sehr wohl an der Beschaffenheit des Niederschlages auf dem Filter erkennen kann, ob dem Parapepton viel unverändertes Fibrin beigemischt ist, denn das so ausgefällte Fibrin ist sehr verschieden vom Parapepton; einigermassen ähnlich dem aus salzsaurer Lösung ausgefällten Albumin und Syntonin. Diese Merkmale aber muss man aus eigener Anschauung kennen, sie lassen sich nicht wohl beschreiben.

Indem wir jetzt zunächst jene beiden nur als Uebergangsstadien zu betrachtenden Körper, das Metapepton und den beim Erhitzen gerinnenden Körper, die sich in der neutralen Verdauungslösung befinden, übergehen, wenden wir uns sofort zu der reinen Peptonlösung.

Die allgemeine Definition der Peptone, wie sie sich nach den Erfahrungen beim Albumin, Casein, Syntonin und Fibrin ergiebt, ist oben schon angegeben. In der reinen neutralen Peptonlösung vom Fibrin erzeugt also weder Erhitzen, noch Zusatz verdünnter Säuren in irgend welcher Menge einen Niederschlag, ebensowenig die Salze der Alkalien und Erden. In der Lösung befinden sich, wie schon bemerkt, drei wohl unterschiedene Peptone. Ihre Charakteristik ist folgende: das a-Pepton wird durch concentrirte Salpetersäure gefällt und durch Blutlaugensalz aus sehr schwach saurer Lösung. Das b-Pepton wird durch concentrirte Salpetersäure nicht gefällt, durch Blutlaugensalz wird es gefällt, aber erst aus bedeutend stärker saurer Lösung. Das c-Pepton wird weder durch concentrirte Salpetersäure noch durch Blutlaugensalz gefällt. Man überzeugt sich von dem Gesagten in folgender Weise.

Prüft man die Peptonlösung vorsichtig mit concentrirter Salpetersäure, am besten, nachdem man die Lösung durch Eindampfen etwas concentrirt hat, so entsteht ein Niederschlag, der sich aber sehr leicht im Ueberschuss der Säure wieder löst. Setzt man zu der ursprünglichen Lösung so viel Essigsäure, dass sie etwa 0,05—0,1 % wasserfreie Essigsäure enthält, so bewirkt der Zusatz von Blutlaugensalz eine flockige Fällung, von der sich eine ganz wasserklare Lösung abfiltriren lässt. Läuft die Flüssigkeit trübe ab, so ist das a-Pepton nicht vollständig ausgefällt, es fehlt dann entweder am Blutlaugensalz oder der Säuregrad ist nicht richtig. In dem wasserklaren Filtrat erzeugt jetzt concentrirte Salpetersäure keine Fällung mehr. Setzt man Blutlaugensalz zu, so bleibt die Flüssigkeit ganz klar, ebenso auch, wenn man dann noch ein wenig stärker mit Essigsäure ansäuert; sobald man aber so viel Essigsäure zusetzt, dass der Gehalt an wasserfreier Säure 0,4—0,6 % beträgt (also wenigstens das vier- bis sechsfache der zuerst zugesetzten Säuremenge) so bewirkt das entweder schon vorher oder nachher zugesetzte Blutlaugensalz abermals eine ansehnliche flockige Fällung, das b-Pepton. Wiederum muss die Lösung wasserklar ablaufen, und nun ist durch Blutlaugensalz und Essigsäure Nichts mehr fällbar,

wohl aber wird ein drittes Pepton jetzt noch durch Gerbsäure, absoluten Alkohol, Quecksilbersalze ausgefällt, das c-Pepton*).

Auf eine Irrthumsquelle bei diesen Operationen müssen wir aufmerksam machen. Wenn man nach Ausfällung des a-Peptons durch Blutlaugensalz in der klaren Lösung einen Ueberschuss von Blutlaugensalz hat, wie er fast unvermeidlich ist, und man prüft dann vorsichtig mit concentrirter Salpetersäure, welche als solche nun keine Fällung mehr geben soll, so kann es kommen, dass beim Einfallen des ersten Tropfens Salpetersäure in die nicht zu kleine Menge der Lösung von b- und c-Pepton ein rasch wieder verschwindender wolkiger Niederschlag auftritt. Dieser Niederschlag bedeutet aber nicht, dass die Salpetersäure als solche einen Körper aus jener Lösung fällt, sondern der erste Tropfen der Säure bringt nur die b-Peptonlösung auf den Säuregrad, dass nun das überschüssig vorhandene Blutlaugensalz mit der ebenfalls vorhandenen, an sich zu geringen Menge Essigsäure das b-Pepton fällt. Mit anderen Worten, man kann zur Ausfällung des b-Peptons mit Blutlaugensalz anstatt den Gehalt an Essigsäure von 0,1% zu erhöhen, auch eine jede beliebige andere Säure hierzu verwenden, um den gehörigen Säuregrad von 0,4—0,6% herzustellen, und so wirkt auch ganz vorübergehend die erste kleine Menge Salpetersäure, die man zutropft. Uebrigens führt schon die Beschaffenheit jener rasch verschwindenden Wolke im Vergleich zu einem wahren Salpetersäureniederschlag bei einiger Uebung und Aufmerksamkeit auf die richtige Erklärung, es versteht sich jedoch von selbst, dass wir die nöthigen Controlversuche, wie sie sich aus Obigem ohne Weiteres ergeben, angestellt haben.

Man könnte auf den Verdacht kommen, ob nicht das eine jener drei Peptone, speciell das c-Pepton vielleicht nur ein scheinbares Pepton sei, und die auf dasselbe bezogenen Reactionen von dem Pepsin herrührten, welches ja doch der Flüssigkeit ursprünglich zugemischt wurde. Dieser Verdacht aber ist jedenfalls unbegründet, denn es handelt sich bei allen von uns aufgeführten Körpern und Niederschlägen immer um so bedeutende Mengen, dass dagegen die Menge des zugesetzten Pepsins eine verschwindend kleine ist. Wir lassen immer zuerst 2 bis 3 Litres Verdauungslösung entstehen, in welcher

*) Dass in der Peptonlösung vom Fibrin concentrirte Salpetersäure eine Fällung bewirkt, wurde schon in Nr. I. dieser Untersuchungen bemerkt, doch war damals noch nicht bekannt, dass in der Lösung drei Peptone sind, von denen nur eines durch Säure gefällt wird.

solche Quantitäten Eiweisskörper verdauet werden, dass man es mit ziemlich concentrirten Lösungen zu thun hat (bei Hühnereiweiss z. B. das Weisse von 12—20 Eiern); dazu wurden einige Cubikcentimeter einer concentrirten Pepsinlösung gesetzt, was eine solche Verdünnung des Pepsins bewirkt, dass eine merkliche Einmischung desselben in die Reactionen nicht zu fürchten ist; übrigens ist noch gänzlich unbekannt, was aus dem Pepsin bei der Verdauung wird. Abgesehen von dem eben Bemerkten wird bei Erörterung der Spaltung des Fibrins durch Kochen mit destillirtem Wasser der directe Beweis geliefert werden, dass aus dem Fibrin jene drei Peptone oder jene drei als Peptone aufgeführte Körper wirklich entstehen, und das Pepsin bei diesen qualitativen Versuchen durchaus nicht irgend wie störend auftritt.

Unsere Erfahrungen über das weitere Verhalten jedes einzelnen der drei Peptone zu Reagentien sind noch unvollständig; vielleicht finden sich dabei noch weitere Unterschiede zwischen ihnen, die jedoch zur Unterscheidung vorläufig nicht nöthig sind, da jene angeführten Merkmale ganz scharf und genügend sind. Wir werden demnächst eine nähere Untersuchung der beiden Blutlaugensalzniederschläge vornehmen. Keines der drei Peptone wird durch concentrirte Salzsäure und durch concentrirte Schwefelsäure gefällt. Wahrscheinlich werden alle drei durch salpetersaures Quecksilberoxydul und durch Quecksilberchlorid gefällt; auch geben wahrscheinlich alle drei die Reaction mit Millon's Reagens. Absoluter Alkohol fällt die drei Peptone aus neutraler (nicht zu verdünnter) Lösung; Gerbsäure ebenfalls aus am besten sehr schwach essigsaurer Lösung. In der ursprünglichen reinen Peptonlösung bewirkt auch schwefelsaures Kupferoxyd Fällung, die sich aber sehr leicht in Säure löst, weshalb man auch sehr darauf zu achten hat, dass die Kupferlösung keine überschüssige Säure enthält; basisch essigsaures Bleioxyd bewirkt Fällung wenn die Lösung gehörig alkalisch ist, um sicher zu gehen mit Ammoniak-Zusatz.

Die Thatsache, dass aus dem Blutfaserstoff, also aus einem Eiweisskörper, der die Bezeichnung einfach ebenso gut verdient, wie alle übrigen ursprünglichen Eiweisskörper, mehre Peptone entstehen, ist neu, sie wurde beim Fibrin zuerst beobachtet. Gar leicht ist es möglich, dass auch aus den anderen Eiweisskörpern mehre Peptone entstehen und bisher übersehen wurden; für das Albumin kann nach vorläufigen Versuchen dies mit Sicherheit schon ausgesprochen werden, wenn auch vielleicht nicht grade drei Peptone entstehen. Mit genaueren Untersuchungen hierüber sind wir beschäftigt. Hier mag aber

an die Berechtigung einer früher in diesen Untersuchungen gemachten Bemerkung erinnert werden, dass es noch nicht Eile habe, Elementaranalysen der Spaltungsproducte der Eiweisskörper vorzunehmen. So lange die qualitative Untersuchung noch im Stande ist, bis dahin für einfache Körper gehaltene Substanzen als Mischungen mehrer nachzuweisen, so lange sind die Elementaranalysen noch nicht am Platz, so lange kann man nicht erwarten, dass die Elementaranalyse greifbare Unterschiede in der Zusammensetzung ergeben soll, wie man sie nach den Unterschieden in den Reactionen der in Betracht kommenden Körper erwarten möchte. Wir selbst haben leider die Erfahrung gemacht, dass es voreilig war, das, was wir früher für ein Pepton hielten, der Analyse zu unterwerfen; denn so wie diese damals ein den Erwartungen nicht entsprechendes Resultat ergab, so wissen wir nun auch, dass wir es mit einer Mischung verschiedener Peptone zu thun hatten.

Wir kommen nun zu der Beschreibung der beiden als Uebergangsstadien zur Peptonbildung bezeichneten Körper, welche in der neutralen Verdauungslösung nach Ausfällung des Parapeptons ausser den Peptonen selbst enthalten sind.

Das Metapepton wurde zuerst beim Syntonin, dann auch beim Casein beobachtet (Nr. III. dieser Untersuchungen). Die Charakteristik der Metapeptone ist folgende: in reinem Wasser heiss oder kalt und in Wasser, welches neutrale Alkalisalze aufgelöst enthält, löslich, jedoch in der Regel schwerer löslich, als die Peptone, löslich in Alkalien, unlöslich in Wasser, welches etwa 0,03 — 0,04 % freie Säure enthält, jedoch bei stärkerem Säuregehalt, sicher bei 0,2 % löslich. Das Metapepton ist also schon durch das angegebene Verhalten wohl unterschieden, sowohl von dem im Wasser unlöslichen Parapepton, wie von dem in Wasser und verdünnten Säuren von jeder Concentration löslichen Peptonen. Doch giebt es noch andere Unterscheidungs-Merkmale.

Man kann das Metapepton aus der durch genaue Neutralisation vom Parapepton befreieten Verdauungslösung durch jede Säure ausfällen, wenn man nur bis zu dem angegebenen Gehalt 0,03 — 0,04 % zusetzt. Auch durch Einleiten von Kohlensäure lässt sich das Metapepton ausfällen. Dies würde ein vortreffliches Mittel zur Ausfällung sein, weil man nachher die Peptonlösung säurefrei und auch frei von einem weitern Salzgehalt hätte, abgesehen hier freilich von dem beim Ausfällen des Parapeptons entstehenden Salz. Indessen es gelingt nicht, das Metapepton durch Kohlensäure ganz vollständig auszufällen, immer blieb ein Rest in Lösung, der erst durch Essigsäure

oder eine andere Säure gefällt werden müsste. Hat man es nicht mit einer sehr concentrirten Metapeptonlösung zu thun, so darf man auch nicht darauf rechnen, sofort durch den gehörigen Säurezusatz sämmtliches Metapepton ausgefällt zu haben; auch wenn der Niederschlag noch so compact, das Filtrat ganz klar ist, pflegt sich beim Stehen in den nächsten zehn Stunden noch ein Rest des Metapeptons nachträglich abzuscheiden. Im Ueberschuss der Säure löst sich das Metapepton leicht wieder auf, ebenso, wenn man ohne vorher den Niederschlag auf dem Filter zu sammeln gleich nach der Ausfällung die Flüssigkeit wieder neutral macht; so löst sich auch das durch Einleiten von Kohlensäure gefällte Metapepton alsbald beim Erwärmen und Auskochen, langsam beim Stehen der Flüssigkeit frei an der Luft, indem die Kohlensäure entweicht.

Auffallend ist der Umstand, dass, wenn die Metapeptonlösung eingedampft und concentrirt ist, zur Ausfällung so viel Säure erforderlich ist, dass die Reaction und der Procentgehalt an Säure bedeutend stärker ist, als wenn man das Metapepton aus verdünnterer Lösung ausfällt. So gilt denn auch jene Zahl für den zur Ausfällung nöthigen Gehalt an Säure nicht allgemein, doch durfte sie aufgeführt werden, weil sie jedenfalls für nicht absichtlich durch Eindampfen concentrirte Lösungen einen ungefähren Massstab abgeben kann. Wir haben einige Versuche angestellt, um zu sehen, ob etwa für eine bestimmte Menge Metapepton, gleichviel ob in viel oder wenig Wasser gelöst, immer die gleiche absolute Säuremenge erforderlich sei, was beinahe der Fall zu sein schien. Nach dem Ergebniss der allerdings noch nicht genügenden Versuche ist es in der That so, und wenn nicht genau, doch jedenfalls annähernd so. Diese Thatsache ist auffallend, und man könnte vermuthen, es möchte sich um irgend welche Verbindung mit der Säure handeln; wir können jedoch hierauf vor der Hand nicht weiter eingehen, da bisher gar kein weiterer Anhaltspunkt für diese Vermuthung gefunden wurde. Der Niederschlag des Metapeptons wenigstens enthielt keine gebundene Säure.

Auf dem Filter bildet das Metapepton des Fibrins eine gelbliche Masse. Hat man dasselbe so gesammelt und abgepresst, so löst es sich nur sehr schwer wieder in reinem Wasser, bedeutend schwerer, als wenn man es unmittelbar nach dem Ausfällen, ohne es auf dem Filter zu sammeln, durch Neutralisation wieder in Lösung bringt. Um in nicht zu langer Zeit eine Quantität Metapepton in Lösung zu bringen, thut man gut, das Wasser mit etwas Ammoniak leicht alkalisch zu machen und zu erwärmen. Die Metapeptonlösung ist weisslich

opalisirend. Das Verhalten zu verdünnten Säuren und zu Kohlensäure ist jetzt dasselbe, wie zuvor. Die neutralen Alkalisalze fällen das Metapepton nicht, wohl aber die Salze der Erden, wie Chlorcalcium, Chlorbarium, salpetersaurer Baryt, schwefelsaure Magnesia; doch darf die Metapeptonlösung nicht zu verdünnt sein. So hält also das Metapepton gewissermassen die Mitte zwischen dem Parapepton und den Peptonen, ersteres wird durch die Salze der Alkalien und die der Erden gefällt, das Metapepton nur durch die Erdsalze, die Peptone weder durch die Alkali- noch durch die Erdsalze. Gewisse Metallsalze fällen endlich sowohl das Parapepton, wie das Metapepton und die Peptone. Das Metapepton des Fibrins wird nämlich noch gefällt durch schwefelsaures Kupferoxyd, welches keine überschüssige Säure enthält, durch gehörig basisch essigsaures Bleioxyd, durch salpetersaures Quecksilberoxydul, durch Quecksilberchlorid, durch salpetersaures Silberoxyd; ferner durch rothes und gelbes Blutlaugensalz aus essigsaurer Lösung, d. h. also nach Zusatz von mehr Essigsäure, als zum Ausfällen des Metapeptons erforderlich ist, wie es ja im Ueberschuss der Säuren löslich ist. Auch concentrirte Salpetersäure nicht nur, sondern auch concentrirte Salzsäure und Schwefelsäure fällen das Metapepton; endlich Gerbsäure. Mit Millon's Reagens behandelt tritt die bekannte Reaction ein. Eigenthümlich ist wieder das Verhalten zu absolutem Alkohol; bei Zusatz desselben in grosser Menge zu einer neutralen Metapeptonlösung tritt nur eine geringe Trübung ein, keine Ausfällung; bei Zusatz geringerer Mengen klärt sich die Lösung sogar, d. h. die bisherige Opalescenz verschwindet, so dass man also das Metapepton als in Weingeist löslich bezeichnen muss.

Es versteht sich von selbst, dass, wenn man die ursprüngliche saure Verdauungslösung neutralisirt, um das Parapepton auszufällen, vorübergehend ein Säuregrad vorhanden ist, bei welchem das Metapepton unlöslich ist, nähert man sich dann mehr und mehr der neutralen Reaction, so geht das Metapepton wieder in Lösung. Man bemerkt dies bei langsamen Zusatz des Alkalis auch recht wohl, wie zuerst ein weisser Niederschlag entsteht, während noch saure Reaction vorhanden ist, dieser verschwindet wieder und gleichzeitig tritt ein anderer bräunlicher Niederschlag auf, das Parapepton. Es ist natürlich wichtig, die Flüssigkeit genau neutral zu machen, sonst erhält man das Parapepton, welches schon einen Moment vor vollkommen neutraler Reaction beginnt auszufallen, nicht rein, sondern mit einem Theil des Metapeptons vermischt. Hier ist grosse Sorgfalt nöthig, wie bei allen hier in Betracht kommenden

Operationen, unbestimmbar kleine Mengen von freier Säure oder Alkali sind oft von dem grössten Einfluss bei diesen Spaltungsproducten der Eiweisskörper. Man darf deshalb nicht an der Wirklichkeit und Stichhaltigkeit der Angaben zweifeln, darf deshalb nicht glauben, dass die als verschieden hingestellten Körper doch wohl nur unmerklich in einander übergingen in ihrem Verhalten; dem ist sicherlich nicht so, nur muss man bei den angegebenen Operationen und Reactionen ein durchaus feineres und sorgfältigeres Verfahren beobachten, als es bisher in der Chemie der Eiweisskörper üblich und erforderlich war. Bei der frühern Beschreibung der Parapeptone, namentlich des Albumins, wurde angegeben, dass dasselbe schon aus schwach saurer Lösung ausfalle und man nicht bis zu genau neutraler Reaction zu neutralisiren brauche: wahrscheinlich wurde damals das Metapepton theilweise mit dem Parapepton ausgefällt, denn das Metapepton war damals noch unbekannt. Auch hierüber also sind neue Untersuchungen nothwendig.

Das Metapepton des Fibrins ist kein definitives Spaltungsproduct, es kann durch fortgesetzte Einwirkung der Chlorpepsinwasserstoffsäure in Peptone verwandelt werden. Seine Gegenwart in der Verdauungslösung ist also immer ein Zeichen, dass die Einwirkung noch nicht ganz beendet ist, doch wird man nach 24—36 stündiger Digestion noch immer Metapepton antreffen. Sammelt man aber eine Portion und giebt sie für sich mit einer frischen Menge Verdauungssaft in Digestion, so verschwindet nach und nach das Metapepton, und statt dessen finden sich zwei Peptone in Lösung, nämlich das b-Pepton und das c-Pepton, dagegen kein a-Pepton. Das Metapepton ist also ein nächstes Product der Einwirkung der Verdauung auf Fibrin, aus welchem bei fortgesetzter gleicher Einwirkung zwei Peptone werden, die beide auch schon neben dem noch vorgefundenen Metapepton angetroffen werden. Ein Theil also jedenfalls der Peptone stammt zunächst von Metapepton her. Die Digestion mit verdünnter Salzsäure allein, ohne Pepsin, bewirkte die Umwandlung des Metapeptons nicht. In Nr. III. dieser Untersuchungen wurde vom Metapepton des Syntonins angegeben, dass es bei weiterer Digestion mit künstlichem Magensaft nicht weiter verändert werde, weshalb das Metapepton als ein definitives Verdauungsproduct aufgeführt wurde. Wahrscheinlich beruhet diese Angabe auf einem Irrthum oder vielleicht darauf, dass das Syntonin-Metapepton schwerer in Pepton verwandelt wird, als das Fibrin-Metapepton; denn dass auch das Syntonin-Metapepton in Pepton verwandelt werden kann, ist gewiss nicht zu bezweifeln nach jener Erfahrung am Fibrin-Metapepton.

Hat man das Parapepton und das Metapepton des Fibrins vollständig ausgefällt, so entsteht in der ganz klaren neutralen oder sehr schwach sauren Lösung ein ansehnlicher Niederschlag, wenn man sie bis zu 65 — 66° C. eine Weile erhitzt. Auch ein solcher Körper, der sich also ähnlich gewöhnlichem Eiweiss verhält, wurde bisher bei der Verdauung anderer Eiweisskörper nicht beobachtet; ob er dem Fibrin eigenthümlich ist, müssen spätere Untersuchungen lehren. Es erscheint, wie gesagt, unnöthig, diesem Körper eine besondere Bezeichnung zu geben, da derselbe durch weitere Verdauung ebenfalls in Peptone verwandelt wird. Ursprünglich also ist der in Rede stehende Körper löslich im kalten und lauwarmen Wasser, ist er aber durch Einwirkung höherer Temperatur coagulirt, so ist er im Wasser unlöslich. In verdünnten Säuren und Alkalien löst er sich ausserordentlich leicht; stumpft man die saure Lösung so viel als möglich ab, bis nahe zur neutralen Reaction, so coagulirt nun der Körper nicht zum zweiten Male beim Erhitzen, obwohl zuerst die Coagulation bei einem sehr geringen Gehalt an freier Säure (0,03% — 0,04%) stattfindet. Mit Erlangung der Unlöslichkeit in Wasser hat der Körper also die Coagulirbarkeit beim Erhitzen verloren. Die concentrirten Mineralsäuren fällen den Körper, ferner die Quecksilbersalze, schwefelsaures Kupferoxyd wenn keine überschüssige Säure vorhanden ist; mit Millon's Reagens tritt die Reaction ein. Andere Reactionen haben wir für dies Mal nicht notirt, was nicht von grossem Belang ist, da der Körper kein definitives Verdauungsproduct ist. Giebt man eine Portion jenes Körpers, coagulirt, in Verdauung für sich allein mit künstlichem Magensaft, so verschwindet er nach und nach und an seiner Stelle treten auch hier die beiden Peptone, das b-Pepton und das c-Pepton auf, dieselben, die auch aus dem Metapepton entstehen. — Diese Gleichheit der Endproducte bei der Verschiedenheit im Verhalten der beiden Körper, des Metapeptons und des durch Hitze coagulirbaren, ist auffallend; vielleicht wurde hier noch Etwas übersehen, was weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben muss; doch stimmt das Angeführte überein mit den unten mitzutheilenden Erfahrungen beim Kochen des Fibrins mit Wasser.

Mit Rücksicht auf den zuletzt beschriebenen Körper müssen wir noch eine Vorsicht bei den Operationen empfehlen. Wenn man nämlich die ursprüngliche saure Verdauungslösung zum Ausfällen des Parapeptons nicht erst abkühlen lässt vor der Neutralisation, so kann leicht ein Theil jenes Körpers mit in den Niederschlag übergehen.

Nachdem es gelungen war, wie in Nr. III. dieser Untersuchungen mitgetheilt wurde, das Syntonin und das Casein durch anhaltendes Kochen mit destillirtem Wasser in dieselben Körper zu zerlegen, welche bei der Digestion mit künstlichem Magensaft entstehen, musste es natürlich unsere Aufgabe sein, solche Versuche auch mit dem Fibrin durchzuführen. Wir benutzten dazu theils das rohe flockige Fibrin, wie oben gewaschen, theils das aus salzsaurer Lösung gefällte Fibrin.

Das Resultat dieser Versuche kann wiederum kurz dahin zusammengefasst werden: man erhält durch anhaltendes Kochen des Fibrins mit destillirtem Wasser dieselbe Spaltung in dieselben Körper, wie bei der Verdauung mit Magensaft, es entstehen Parapepton, Metapepton und die drei Peptone. Aber es bedarf dazu auch hier sehr langer Zeit; während die vollständige Verdauung nach den aus Obigem sich ergebenden Merkmalen nach einer 3 bis 4tägigen Digestion bei 40^0 beendet sein kann, mussten wir das Fibrin etwa 4 Wochen lang täglich 6 — 8 Stunden kochen, bis dass die Zerlegung ganz beendet war. Wendet man pulverförmiges präparirtes Fibrin an, so geht die Zerlegung etwas rascher vor sich. Wir nahmen das Kochen in grossen Glaskolben auf dem Sandbade vor, und zwar operirten wir auch hier mit so grossen Mengen Fibrin, dass die angemessene Quantität Wasser 1 — 2 Litres betrug. Das Decoct wurde anfangs täglich, später mit grösseren Zwischenräumen untersucht, es hatte stets die gleiche Beschaffenheit was die Qualität der darin gelösten Eiweisskörper betrifft; die Menge derselben nahm zuletzt merklich ab und das Ende der ganzen Operation ist dadurch angezeigt, dass das Wasser Nichts mehr aufnimmt, was aus der sehr schwach mit Essigsäure angesäuerten Flüssigkeit mit Gerbsäure ausgefällt werden kann.

Die Fibrinflocken behalten bis zu Ende immer ihre ursprüngliche Gestalt, aber sie schrumpfen bedeutend zusammen, so dass man an dem immer kleiner werdenden Volumen der abgepressten Masse schon deutlich erkennt, dass der grösste Theil der Substanz in Lösung gegangen sein muss. Nur in einer Beziehung verändern ausserdem die Flocken ihre äusserliche Beschaffenheit; während nämlich die frischen Fibrinflocken an und in sich viel Wasser zurückhalten und durch blosses Ausdrücken in einem Seihtuch nicht abgetrocknet werden können, so gewinnen sie je länger sie ausgekocht werden immer grössere Neigung, sich sofort zu trocknen. Ist die Abkochung beendet so braucht man die Flocken nur mässig in einem Tuch zu pressen mit der Hand, und sie fühlen sich schon wie eine

getrocknete Substanz an, haften nicht zusammen und nicht am Tuch; sie haben dann eine bräunliche Farbe.

Das Decoct ist nach der Filtration stets stark opalisirend. Die Reaction weicht von der neutralen kaum ab; doch tritt beim Einengen im Verlauf des Abkochens schwach alkalische Reaction ein, die wahrscheinlich von einem in geringer Menge entstehenden sogenannten Extractivstoff herrührt, auf welchen wir jedoch bisher noch nicht weiter geachtet haben. Das Decoct bietet, so lange es heiss ist, anfänglich den Geruch von Leim dar, der auch beim Kochen des Albumins auftritt. In dem Fibrindecoct sind stets drei Körper in grösserer Menge gelöst, nämlich das Metapepton und zwei Peptone, das b-Pepton und das c-Pepton; keine Spur von dem durch concentrirte Salpetersäure fällbaren a-Pepton.

Bei schwachem Ansäuern des Decocts, welches auch vorher eingedampft werden kann, fällt das Metapepton heraus, in jeder Beziehung übereinstimmend mit dem bei der Verdauung entstehenden Metapepton. Ist das Metapepton vollständig ausgefällt, was, wie oben bemerkt, Sorgfalt erfordert und leider durch Kohlensäure nicht vollständig geschehen kann (die hier ja besonders vortheilhaft sein würde), so giebt concentrirte Salpetersäure in dem ganz klaren Filtrat keine Spur von Fällung mehr, und tritt eine solche in der eingeengten Lösung noch ein, so ist das ein sicheres Zeichen, dass noch nicht alles Metapepton ausgefällt wurde. Aus dem Filtrat wird dann zuerst nach etwas stärkerem Ansäuern (vergl. oben) das b-Pepton durch Blutlaugensalz gefällt und nach Entfernung dieses Niederschlages findet man in dem abermals ganz wasserklaren Filtrat noch das c-Pepton, welches durch Blutlaugensalz nicht gefällt wird, wohl aber durch Gerbsäure, Quecksilbersalze und mit Millon's Reagens die rothe Farbe annimmt.

Das Mengen-Verhältniss dieser drei in das Decoct übergehenden Körper unter sich ist, so weit sich ohne quantitative Bestimmungen beurtheilen lässt, immer das gleiche. Aber ein Umstand ist auffallend, nämlich die verhältnissmässig sehr grosse Menge des Metapeptons gegenüber sowohl der Menge der beiden Peptone, als namentlich gegenüber derjenigen Menge des Metapeptons, die bei der Verdauung auftritt; man erhält zuweilen aus einem 2 — 3 tägigen Decoct ebenso viel Metapepton, wie bei einem 1 — 2 tägigen Digestionsversuch, während doch in 2 — 3 Tagen durch blosses Kochen mit Wasser nur ein kleiner Theil des Fibrins zerlegt wird. — Die Erklärung fand sich leicht. Das Metapepton kann durch Kochen mit Wasser nicht in Pepton verwandelt werden, während die Digestion mit künstlichem

Magensaft diese Umwandlung bewirkt. Beim Kochen des Fibrins erhält man sämmtliches Metapepton, welches aus dem Fibrin entsteht, als solches, bei der Verdauung erhält man nur einen kleinen Theil als solches, den grössten Theil weiter verwandelt in b- und c-Pepton; ja endlich nach vollständig beendeter Verdauung ist gar kein Metapepton mehr vorhanden. Das Metapepton ist, wie schon oben bemerkt, ein Uebergangsstadium, ein erstes Product der Spaltung des Fibrins: das Kochen mit Wasser vermag diesen Theil des Atomencomplexes „Fibrin" nicht weiter zu verändern, derselbe bleibt auf dem Uebergangszustande stehen; während ein anderer Theil des Atomencomplexes, wahrscheinlich der, welcher bei der Verdauung in einem Uebergangsstadium als jener in der Hitze coagulirende Körper sich darstellt, auch durch das Kochen mit Wasser seine definitive Form erreicht, nämlich in b- und c-Pepton verwandelt wird, welche beide sich ja neben dem Metapepton in dem Fibrindecoct finden.

Von den bei der Verdauung des Fibrins auftretenden Producten fehlen also nun noch drei, nämlich erstens jener unlösliche gallertige Niederschlag, der in der sauren Verdauungslösung suspendirt ist, zweitens das Parapepton, drittens das a-Pepton. Wir mussten erwarten, dass diese drei Körper den beim Kochen übrig bleibenden unlöslichen Rückstand ausmachen, und demgemäss wurden folgende Versuche angestellt. Nachdem das Abkochen so lange fortgesetzt worden war, bis das Wasser Nichts mehr aufnahm, wurde ein Theil der abgepressten rückständigen Flocken mit gewöhnlichem künstlichen Magensaft bei 40^0 digerirt, ein anderer Theil mit verdünnter Salzsäure (0,2%) allein. In beiden Proben ging die Auflösung sehr langsam von Statten, rascher aber in der Probe mit Pepsin. Während hier die Flocken sich lösten, entstand ein äusserst fein vertheilter unlöslicher Niederschlag, der dem bei der Verdauung des ursprünglichen Fibrins sich bildenden durchaus entspricht. In der abfiltrirten sauren Lösung entstand beim Neutralisiren der Niederschlag des Parapeptons, und in dem klaren Filtrat fand sich weder Metapepton, noch ein beim Erhitzen coagulirender Körper, auch kein b- und c-Pepton, wohl aber das aus nicht zu verdünnter Lösung durch concentrirte Salpetersäure fällbare a-Pepton.

So waren also sämmtliche Gruppen, in welche der Atomcomplex Fibrin bei der Verdauung zerfällt, auch hier aufgefunden, wo zuvor durch kochendes Wasser eine nur theilweise Spaltung bewirkt worden war, und es unterliegt nun auch wohl keinem Zweifel, dass jener in der Hitze coagulirende Körper, der

vorübergehend bei der Verdauung auftritt und in b- und c-Pepton leicht verwandelt wird, bei der Zerlegung durch Kochen repräsentirt ist durch das b- und c-Pepton im Decoct, welches vom Metapepton nicht abstammen kann, da dieses durch Kochen nicht in Pepton verwandelt wird. Hier wurde leider nur ein Versuch versäumt, den wir äusserer Umstände halber zur Zeit nicht gleich nachholen können, nämlich der Versuch, ob der bei der Verdauung gewonnene durch Hitze coagulirbare Körper durch Kochen mit Wasser in b- und c-Pepton verwandelt werden kann. Sollte dieser Versuch negativ ausfallen, so würde das nicht sofort gegen obige Schlussfolgerung beweisen, da der Körper möglicherweise durch die Art seines Entstehens und der Darstellung bei der Verdauung eine für die Einwirkung des kochenden Wassers unangreifbare Beschaffenheit erhalten haben könnte, während er vielleicht nur angreifbar für dasselbe ist, wenn die Atomgruppe noch in ihrem ursprünglichen Zustande, indem sie das „Fibrin" constituiren hilft, sich befindet. (Siehe den Nachtrag.)

Um aus dem beim Kochen mit Wasser übrigbleibenden Rückstande jene drei Körper darzustellen, zum Theil in Lösung zu bringen, welche mit denen im Decoct sich zu „Fibrin" ergänzten, bedarf es jedoch nicht der Einwirkung der Chlorpepsinwasserstoffsäure, bedarf es keiner Verdauung mehr; vielmehr sind jene drei Körper in dem Rückstand in so lockerem Zusammenhange nur noch, nach der Lostrennung von den in das Decoct übergegangenen, dass auch die Einwirkung der verdünnten Salzsäure allein die Trennung bewirkt. Wir kochten jene andere Probe mit der Salzsäure von 0,2% einige Zeit; dabei lösten sich die Flocken, aber nicht ohne dass an ihrer Stelle jener feine gallertige Niederschlag entstand, der das Filtriren so erschwert. In Lösung fanden sich dann Parapepton und das a-Pepton. Durch das Kochen mit der verdünnten Salzsäure erreicht man dieses Zerfallen des beim Kochen mit Wasser bleibenden Rückstandes in jene drei Körper rascher, als durch die Digestion mit Pepsin und Salzsäure bei 40°. Es braucht also jener Rückstand nicht erst noch im eigentlichen Wortsinne verdauet zu werden, so wie ein ursprünglicher Eiweisskörper; sondern das vorgängige Kochen mit Wasser hat auch den unlöslichen Rückstand offenbar vermöge der Extraction jener drei löslichen Körper, Metapepton, b- und c-Pepton, so weit vorbereitet zum weiteren Zerfall, dass mit der Lösung auch zugleich die Spaltung stattfindet. Dennoch aber handelt es sich bei jenem Rückstande nicht ausschliesslich um Auflösung, ein gewisser Zusammenhang, den das Kochen mit Wasser

nicht scheint aufheben zu können, muss zwischen den drei Bestandtheilen jenes Rückstandes noch vorhanden sein, denn sonst wäre nicht einzusehen, weshalb das a-Pepton nicht auch beim Kochen mit Wasser in Lösung geht.

Wie in Nr. III. dieser Untersuchungen schon angeführt ist, haben Berzelius und Mulder schon früher neben anderen Eiweisskörpern auch das Fibrin der Einwirkung des kochenden Wassers unterworfen und gesehen, dass ein grosser Theil der Substanz in Lösung geht, während ein in verdünnter Säure schwerlöslicher Rückstand blieb.

Göttingen, April 1861.

(Fortsetzung folgt.)

Nachträgliche Bemerkungen.

Wir haben nach Absendung vorstehenden Aufsatzes noch einige ergänzende Versuche anstellen können.

Es wurde nämlich eine Portion des bei der Verdauung des Fibrins entstehenden vorübergehenden Spaltungsproducts, welches beim Erhitzen der neutralen oder sehr schwach sauren Lösung gerinnt, und durch weitere Digestion mit Magensaft in b- und c-Pepton verwandelt wird, isolirt und mehre Stunden mit destillirtem Wasser gekocht, mit Rücksicht auf die oben ausgesprochene Vermuthung, dass dieses vorübergehende Spaltungsproduct dabei auch in b- und c-Pepton verwandelt werden möchte, da beim Kochen des Fibrins von vorn herein jener Körper nicht entsteht, wohl aber b- und c-Pepton, welche, bei der Unveränderlichkeit des Metapeptons durch Kochen, nur jenen Körper repräsentiren können. — Indessen jener in der Hitze coagulirte Körper veränderte sich beim Kochen mit Wasser nicht, und somit muss man vorläufig annehmen, dass bei der Zerlegung des Fibrins durch Kochen mit Wasser ein Theil des Atomencomplexes sofort, ohne jenes Uebergangsstadium zu bilden, in b- und c-Pepton verwandelt wird, während es bei der in den Endresultaten ganz gleichwerthigen Zerlegung des Fibrins durch Verdauung zuerst zur Bildung jenes eigenthümlichen Uebergangsstadiums kommt, aus welchem dann erst jene beiden Peptone werden.

Als der Rückstand vom Kochen des Fibrins durch Digestion mit Magensaft, wie oben angegeben, noch zerlegt wurde in Parapepton, a-Pepton und jenen unlöslichen gallertigen Körper, ergab sich die Möglichkeit der Isolirung des letztern; denn

während derselbe sonst so hartnäckig in der Flüssigkeit suspendirt bleibt und das Filtriren so erschwert, setzte er sich in jener Flüssigkeit nach und nach gut am Boden ab, und durch Abgiessen und Filtriren wurde eine kleine Menge rein erhalten. Er bildete in der That eine weiche schwach durchscheinende gelbliche Gallert, welche wir mit absolutem Alkohol und darauf mit Aether behandelten, worauf der Körper als ein trocknes, leicht zerreibliches Pulver erhalten wurde, welches stickstoffhaltig ist und weder im Wasser, noch in verdünnten Säuren und Alkalien sich löst. Dieser Körper, der jedenfalls auch als ein Spaltungsproduct des Fibrins anzusehen ist, entspricht, wie oben schon angedeutet, in der That dem Dyspepton des Caseins und mag also vorläufig auch mit dem Namen Dyspepton des Fibrins bezeichnet werden.

Wirkungen des Ammoniak auf die Nervenstämme.

Von

Prof. Dr. **E. Harless.**

(Hierzu Taf. III.)

Die Wirkung des Ammoniak auf die Centralorgane, worüber ich in der Februar-Sitzung 1861 in der mathematisch-physikalischen Classe der Akademie ausführlich referirt habe, ist eine so auffallende und wird durch die Verflechtung verschiedener Functionen, wie sie in den constituirenden Elementen der Centra geboten ist, so verwickelt, dass es schon deshalb nothwendig schien, die Folgen der Ammoniak-Einwirkung auf die Nervenstämme einer mehr eingehenden Prüfung zu unterwerfen, als dies bisher durch Kühne und mich bereits geschehen ist, zumal sich aus den Ergebnissen der einschlägigen Versuche manche weitere Schlüsse von mehr allgemeiner Bedeutung entwickeln lassen.

Durchweg bediente ich mich des Miniaturpinsels, welcher in Ammoniak getaucht war, um den Stoff auf den Nerv in beliebiger Ausdehnung aufzutragen. Das Ammoniak selbst aber war mit einer saturirten Lösung von Carmin in Ammoniak gefärbt, um verfolgen zu können, wie weit das flüssige Agens in jedem Moment vorgedrungen war, und um nachträglich den Ort der Berührung, ihre Ausdehnung und Entfernung von anderen wichtigen Punkten mit Zirkel und Massstab zu bestimmen.

Wenn man den elektrischen Reiz zunächst im Auge behält, obwohl er nicht allein angewendet wurde, so lässt sich die ganze Untersuchung mit jetzt eingebürgerten Bezeichnungen in drei Reihen abtheilen; nämlich in die Folgen, welche die Berührung des Nerv mit Ammoniak hat, wenn die Application geschieht: 1) auf der myopolaren, 2) auf der intrapolaren, 3) auf der centripolaren Nervenstrecke. Die Apparate, deren

ich mich bediente, waren: zur Reizung entweder einfache Kettenströme von stets gemessener Grösse, welche Grove'sche Becher bester Qualität lieferten, oder Schläge des Du Bois'schen Schlitten, oder kleine Vorrichtungen, um von sehr beschränkten Stellen des Nerv aus mit Kochsalz Tetanus hervorzurufen. Die Zuckungen schrieb auf einer mit der Hand in horizontaler Richtung bewegten Glastafel der mit einem Hebel in Verbindung gebrachte vertikal hängende Muskel auf. Die Befestigung des Muskels geschah durch einen an dem Arm des allgemeinen Trägers anzuschraubenden Halter, dessen Zangenarme den Stumpf der Kniegelenkknochen zwischen sich nahmen. Die Säule des allgemeinen Trägers besteht zum dritten Theil ihrer Länge aus Glas. Die Platte des Trägers ist in ihrer Diagonale durch sechs wohl von einander isolirte Kupferdrähte unterbrochen, von welchen jeder oben eine schaufelförmige Platte amalgamirten Zinks trägt. Auf die nach oben emporragenden Kanten der letzteren ist je ein Sattel von vierfach gefaltetem in schwefelsaurer Zinklösung getränktem, schwedischem Filtrirpapier gelegt, welches selbst wieder das Eiweisshäutchen trägt, auf dem schliesslich der Nerv in horizontaler Lage aufliegt. Das Ende des Nerv ruht auf einer kleinen Glassäule; über ihn, wie über den Muskel ist ein gläsernes, theilweise mit feuchtem Fliesspapier ausgekleidetes Gehäuse gestürzt. Die Sehne des Muskels mit ihrem Hacken befindet sich über einem Loch in der Platte, aus welchem der letztere nach unten vorragt, um mit dem Zeichenhebel in Verbindung gebracht zu werden und das Gewicht zu tragen, womit der Muskel belastet werden soll. Das Gewicht betrug 16 Grm., die Vergrösserung des Ausschlages durch den Hebel 4,23. Der Nerv wurde stets bis herauf zu seinem Austritt aus den Intervertebrallöchern frei gelegt und dort abgeschnitten. Der isolirte Gastrocnemius endlich war es, von welchem in allen Versuchen die Zuckungslinien gewonnen wurden.

I. Abtheilung.

Die erste Reihe von Versuchen, wodurch die Folgen ermittelt werden sollten, welche die Application des flüssigen Ammoniaks auf die myopolare Nervenstrecke hat, ist die einfachste. Es ist gleichgültig, an welchem Punkt zwischen Elektrode und Muskel das Ammoniak aufgetragen wird: geschieht dies nur gürtelförmig um den ganzen Nerv in einer Breite von kaum 1 Mm., so ist die Leitung für die Innervation an dieser Stelle in der kürzesten Frist unterbrochen, als wenn der Nerv durchschnitten wäre. Die Geschwindigkeit, mit welcher dieser letzte

Erfolg eintritt, ist aber wesentlich von der Concentration des Ammoniak und der Art abhängig, wie dasselbe aufgetragen wird. Zieht man eine Linie parallel der Längsaxe des Nerv auf seiner Oberfläche in einer Breite von selbst $^1/_4$ oder $^1/_3$ des ganzen Cylindermantels, so tritt die totale Leitungshemmung sehr viel später ein, als wenn man eine viel schmälere Linie gürtelförmig um den ganzen Nerven legt. Im ersteren Fall kann man sehr schön beobachten, wie die von höher oben angeregten Zuckungen nach und nach in immer mehr einzelnen Muskeln verschwinden, in anderen dagegen noch sehr lange, wenn auch vielleicht geschwächt, fortdauern, wenn man den Nerv mit der Gesammtmuskulatur des Unterschenkels in Zusammenhang gelassen hat. Bei dem gürtelförmigen Strich von 2—4 Mm. Breite verschwinden die Zuckungen fast gleichzeitig in allen Muskeln und um so schneller, je breiter mit einem Zug der Strich geführt wurde.

Ist das Ammoniak concentrirt, und das Präparat sonst noch sehr reizbar, so bemerkt man weder eine Zuckung als Zeichen der Reizung im Moment der Application, noch auch verstärken sich von der Zeit ab bis zur vollständigen Hemmung der Leitung die Zuckungen auch nur vorübergehend. Um dies deutlich demonstriren zu können lasse ich durch den schwingenden Pendel des Metronom in regelmässigem Takt ununterbrochen die Kette schliessen und öffnen, während die Glastafel vor dem Zeichenhebel langsam vorübergeschoben wird. Man lässt in Folge der Abschwächung des Stromes durch den feuchten Rheostat, oder durch Nebenschliessung, in welche die Boussole aufgenommen ist, Zuckungen entstehen, welche so nah als möglich dem Minimum liegen, und wartet mit der Application des Ammoniak so lange, bis die einzelnen Striche sehr langsam ihre Länge ändern und sehr klein geworden sind, oder etwa noch der halben Höhe des Zuckungsmaximums entsprechen. In keinem der beiden Fälle bemerkt man, während das Uhrwerk unausgesetzt im Gang bleibt, eine auch nur momentane Vergrösserung der Zuckung, sondern eine sofortige Verkleinerung, welche dem Nullpunkt je nach den oben angemerkten Umständen rascher oder langsamer zueilt.

Wenn man nahe dem centralen Nervenende Tetanus durch Kochsalz erregt und wartet bis derselbe graphisch eine nahezu horizontale Linie bildet, also sein Maximum erreicht hat, und man berührt weit weg von jener Stelle den Nerv nahe seinem Eintritt in den Muskel mit Ammoniak, so sieht man die Curve sofort rechtwinklig zurückbiegen und fast momentan zur Abscisse zurückschnellen. Ein für allemal will ich gleich hier erwähnen,

wie der häufig im Lauf der Untersuchung benutzte „Kochsalz-Tetanus“ (s. v. v.) hervorgerufen wurde. Ich benutze dazu eine an einem kleinen Stativ befestigte, U-förmig gebogene Glasröhre, deren einer Schenkel c. 5 Mm. Durchmesser hat, während der andere vorne nahezu capillär ausgezogen ist. Hier hat er aber noch eine mässige Wanddicke um den Nerv bequem auflagern zu können, und ihm zugleich zu gestatten, dass auf diesem ein Kochsalzwürfel von c. 1 Cub.-Mm. Grösse ohne herabzufallen liegen bleibe. Die Röhre ist mit concentrirter Kochsalzlösung gefüllt, in welcher noch einige unaufgelöste Krystalle liegen, und der Würfel ist, ehe er auf den Nerv gelegt wird, mit derselben Flüssigkeit benetzt worden. Wenn das Salzwasser bei dieser Vorrichtung auch nur in einer Länge von 1 Mm. mit dem Nerv in Berührung gebracht wird, so tritt der Tetanus unfehlbar doch schon in 3 — 4 Minuten im Muskel auf. Dieser höher oben vom Nerv aus erregte Tetanus wird also sofort bei gürtelförmiger Application des concentrirten Ammoniak auf eine nahe dem Muskel gelegene Stelle sistirt, niemals verstärkt, so wenig als die durch elektrische Reizung hervorgerufene Zuckung.

Wird das Ammoniak mit destillirtem Wasser so weit verdünnt, dass es eben anfängt das Curcumapapier deutlich zu bräunen, und man taucht den Nerv eines sehr reizbaren Präparates in der Längenausdehnung von c. $1^1/_2$ Cm. rasch hinein, so sieht man einen kurz dauernden Tetanus auftreten. Nun ist es allerdings wahr, dass man, wenn auch sehr selten, das Gleiche an äusserst reizbaren Präparaten beobachtet, wenn man ihre Nerven in reines Wasser taucht, dessen Temperatur etwas höher ist als die des Medium, in welchem der Frosch kurz vorher war aufbewahrt worden; allein das häufigere Vorkommen dieses Phänomens im ersten Fall und der Umstand, dass sich das Ammoniak den sensitiven Nerven gegenüber für kurze Zeit ganz bestimmt als Reizmittel zu erkennen giebt, lässt doch mit hohem Grad der Wahrscheinlichkeit vermuthen, dass es in bestimmter und zwar sehr geringer Concentration zuckungs-erregend auf die motorischen Nerven wirken könne. Die Frage ist aber von zu grossem allgemeinen Interesse, als dass man sich bei einer solchen Wahrscheinlichkeit beruhigen durfte. Jene Versuche waren in der kältesten Zeit dieses Winters (1860/61) angestellt, die Frösche sehr reizbar, nahezu tetanisch, wie man diesen Zustand nach Pflüger jetzt bezeichnet, so dass es damals schwerer zu entscheiden blieb, ob der kleine Temperaturwechsel, verbunden mit der Quellung in Wasser allein, oder ob das Minimum von Ammoniak in diesem Wasser den Ausbruch der Krämpfe herbeigeführt hatte.

Ich wiederholte die Versuche im März und will nur Einen mit allen Nebenumständen ausführlicher beschreiben. Der Frosch war in frischem Wasser von 12^0 Cels. aufbewahrt worden und erst seit wenigen Tagen eingefangen. Er wurde im Zimmer geschlachtet und blieb bei c. 15^0 eine Stunde liegen. Durchschneidung des Marks und des bis zu den Intervertebrallöchern heraufpräparirten Nerv hatte keine Convulsionen zur Folge; das Thier war also keinesfalls „tetanisch". Es wurden jetzt zwei Gläser destillirten Wassers von 12^0 Cels. auf den Tisch gestellt, und dem einen so viel Ammoniak zugefügt, dass sich Curcumapapier eben leicht dadurch bräunte. Die Titrirung mit Oxalsäure ergab, dass in 1 CC. Ammoniakwasser 1,53 Mgrm. Bà vertreten war. Der Nerv des Präparates wurde einige Augenblicke in das reine Wasser getaucht — es entstanden keine Zuckungen; in dem Moment aber, in welchem er ein Stück weit in das Ammoniak-haltige Wasser getaucht wurde, geriethen die Tarsusmuskeln in zitternde Convulsionen, welche sofort aufhörten, als der Nerv jenseits der Stelle, an welcher er eingetaucht war, durchschnitten wurde. Sie kehrten im reinen Wasser nicht wieder, wohl aber im Ammoniakhaltigen.

Dieser Versuch war so rein und überzeugend, dass ich ihn für beweisend halten muss, trotzdem, dass seine Wiederholung Anderen, wie mir auch sehr häufig, fehlschlagen wird. Es kommt dabei nämlich auf zwei Umstände sehr genau an, wovon man aber leider nur den einen vollkommen sicher in der Hand hat, das ist die Concentration des Ammoniak. Der andere Umstand ist die nie so sicher zu regulirende Reizbarkeit des Nerv; und doch ist innerhalb sehr enger Grenzen der Spielraum des Verhältnisses abgesteckt, in welchem diese beiden Grössen zu einander stehen dürfen. So viel kann ich versichern, dass man nur mit Opferung vieler Thiere und vielem Wechsel des Concentrationsgrades, wenn der Zufall gerade nicht günstig ist, nur dann und wann den Versuch gelingen sieht. Alles kommt darauf an, dass die hervorgerufene Erregung mit einer gewissen Geschwindigkeit und Heftigkeit auftrete, ohne doch zu schnell von der lähmenden Kraft dieses Stoffes überholt zu werden. Dass aber diese beiden Wirkungen wirklich dem Ammoniak zukommen, wird der ganze weitere Verlauf der Untersuchung unzweideutig lehren.

Vorläufig gehe ich zu weiteren Beobachtungen über.

Lässt man auf die oben angegebene Weise von einem nahe dem centralen Nervenende gelegenen Stück aus durch Kochsalz den Gastrocnemius in Krämpfe verfallen, wartet so lange, bis

bei starker Verkürzung die Oscillationen sehr klein werden (wie in Curve 1 der Tafel), und trägt in diesem Augenblick nahe dem Muskel einen Tropfen des sehr verdünnten Ammoniak auf, so sieht man sehr schnell die Oscillationen fast vollkommen verschwinden und den Muskel noch stärker, ja ganz tetanisch auf einige Zeit sich zusammenziehen, bis dann nach einigen Minuten die Oscillationen wieder mit wachsender Grösse in der Zeiteinheit zunehmen, während die mittlere Verkürzungs-Curve rasch der Abscisse immer näher und näher rückt. Nochmaliges Auftragen von Ammoniak drückt jene Curve wieder von der Abscisse weg, ohne dass jedoch nochmals ein so stetiger Tetanus erzielt werden könnte, und noch schneller biegt die Curve zur Abscisse zurück als vorhin.

So war z. B. in einem Versuch die mittlere Verkürzung des Muskels bis zu 11,4 Mm. Ordinate gediehen, wobei die Schwankungen um diese mittlere Grösse noch 2 Mill. betrugen. So wie das Ammoniak aufgetragen wurde, stieg sehr schnell die Curve mit kaum mehr messbaren Oscillationen bis zu einer Höhe von 15 Mm., um sich von da ab mit immer mehr wachsenden Schwankungen nach ein Paar Minuten der Abscisse bis auf 5 Mm. zu nähern. Als auf's Neue Ammoniak aufgetragen wurde, stieg die mittlere Ordinate rasch wieder auf 12 Mm. empor, aber die Oscillationen um sie schwankten in rascher Folge zwischen 1 und 4 Mm.; als sich bald darauf jene der Abscisse auf 5 Mm. genähert hatte, waren die Schwankungen gegen 7 Mm. gross geworden.

Was in diesen Fällen das verdünnte Ammoniak bewirkt, kann man auch mit concentrirtem Ammoniak erreichen, wenn man dasselbe auf die myopolare Strecke nicht gürtelförmig, sondern auf einen Streifen des Cylindermantels aufträgt, als welchen wir die Nervenoberfläche betrachten können. Um die Gesetze, welche sich dabei geltend machen, recht klar zu übersehen, verfährt man folgendermassen: Man wählt für ganz frische Präparate zuerst Stromstärken, bei welchen Schliessungs- und Oeffnungszuckungen gleich gross sind, wodurch man natürlich dem Zuckungsmaximum schon sehr nahe rückt. Lässt man nun das Uhrwerk im Gang, während man das Ammoniak aufträgt, so sieht man wie anfänglich langsamer, dann plötzlich viel rascher die Zuckungshöhe sinkt, wobei aber fast bis zu ihrem völligen Verschwinden die beiden Zuckungsformen unter einander gleich gross bleiben, d. h. also mit jedem Pendelschlag beide in gleichem Mass an Grösse abnehmen. Ordnet man jetzt aber den Versuch so an, dass vor der Ammoniakwirkung je nach der Natur des Präparates

die eine Zuckung die schwächere ist, während die andere näher ihrem Maximum liegt, so bemerkt man jedesmal sehr schnell nach der Berührung des Nerv mit Ammoniak, dass die anfänglich schwächere Zuckung sich verstärkt, während die andere zuerst noch kurze Zeit ihre alte Höhe behauptet, dann rasch kleiner wird, so dass also schliesslich die Längen beider Zuckungs-Ordinaten mehr oder weniger gleich werden, je nach der anfänglichen Differenz; kurz vor der eintretenden Hemmung der Fortleitung bleibt nur noch die eine Zuckungsform mit schliesslich verschwindendem Werth ihrer Ordinate zurück.

Ich gebe dafür zunächst einige Zahlenbelege:

Die erste Columne giebt die Nummer der Pendelschwingungen an, wodurch die Kette geschlossen und geöffnet wurde, was je 47 mal in der Sekunde geschah. Die Zahlen in den übrigen Rubriken bedeuten in Millimeter ausgedrückt die Ordinaten der betreffenden Zuckungen, sowie sie von dem den Ausschlag vergrössernden Hebel aufgezeichnet worden. Der Rheostat war mit 1 Vol. Theil concentrirter Kupfervitriollösung auf 500 Theile Wasser gefüllt.

I. Versuch.

Rheostatenstand 5 Cent.

Nr. der Pendelschw.	Schliess.-Zuckung.	Oeffnungs-Zuckung.
1	15,5	15,5
20	15,5	15,5
40	15,5	15,5
nach der Application des Ammoniak		
1	15	14
14	10	10
20	8	8
28	6,1	6,1
36	4,7	4,7
48	2	2

Specialverhältnisse für den Versuch I:

Der Strom war absteigend;
die Applicationsstelle 5 Mm. lang;
die hintere Grenze derselben 21 Mm. von der Katode entfernt;
die intrapolare Strecke 5 Mm. lang;
die centripolare Strecke 20 Mm. lang.

Versuch II.

Rheostatenstand 82,5 Cent.

Nr. der Pendelschw.	Schliess.-Zuckung.	Oeffnungs-Zuckung.
1	5,2	12,2
20	5,1	12,9
40	5,9	12,9
nach der Application des Ammoniak		
1	5,6	13
20	9	12,3

Specialverhältnisse f. Versuch II.

Der Strom war absteigend;
die Applicationsstelle hart am Muskel 7 Mm. lang;
die ganze myopolare Strecke 32 Mm. lang;
Abstand der Applicationsstelle des Amm. von der Katode 22 Mm.;

Versuch II.

Nr. der Pendelschw.	Schliess.- Zuckung.	Oeffnungs-
nach der Application des Ammoniak		
28	8	11,9
34	5,5	9
40	5	8
46	5,3	7
60	3	5,9
80	2,8	5
100	1	3,5
v. 110 an	0	0,8

Specialverhältnisse f. Versuch II.
Länge der centripolaren Strecke 13 Mm.;
Länge der intrapolaren Strecke 5 Mm.

Versuch III.
Rheostatenstand 19 Cent.

Nr. der Pendelschw.	Schliess.- Zuckung.	Oeffnungs-
1	14	8
20	14	7
36	15	4
nach der Application des Ammoniak		
6	14	6,8
8	14	8,3
10	13	6,5
16	9	5,1
22	3,4	3
28	0,5	0

Specialverhältnisse f. Versuch III.
Der Strom war absteigend;
die Applicationsstelle hart am Muskel 8 Mm. lang;
die ganze myopolare Strecke 32 Mm. lang;
Abstand der Applicationsstelle des Amm. von der Katode 21 Mm.;
Länge der centripolaren Strecke 14 Mm.;
Länge der intrapolaren Strecke 5 Mm.

Versuch IV.
Rheostatenstand 35 Cent.

Nr. der Pendelschw.	Schliess.- Zuckung.	Oeffnungs-
1	12	16,1
20	12,7	15,8
40	11,8	14,8
nach der Application des Ammoniak		
6	11,8	14,8
16	11,9	14
26	11,5	13
40	9	10
50	7	8,3
60	4	5
62	0	2
70	0	0,5

Specialverhältnisse f. Versuch IV.
Der Strom war absteigend;
die Applicationsstelle hart am Muskel 7 Mm. lang;
die ganze myopolare Strecke 32 Mm. lang;
Abstand der Applicationsstelle des Amm. von der Katode 22 Mm.;
Länge der centripolaren Strecke 13 Mm.;
Länge der intrapolaren Strecke 5 Mm.

Es ist nach alle dem unzweifelhaft, dass erstens: das Ammoniak, auch in sehr kleinen Mengen mit dem Nerv in

Contact gebracht, die Fortleitung der höher oben hervorgerufenen Erregung in kürzester Frist zu hemmen vermag; anderwärts habe ich schon gezeigt, dass diese Lähmung nur um sehr wenig, ca. $^1/_2$ Mm., die Grenzen der Applicationsstelle überschreitet, welche sich durch die Carminlösung in voller Schärfe zu erkennen geben. Nachdem man dies weiss, ist man auch sicher, dass in den oben beschriebenen Versuchen die Veränderung, welche die anfängliche Wirkung des Reizes nach der Application des Ammoniak erfährt, nicht von einer bis zur intrapolaren Strecke fortgepflanzten identischen Zustandsänderung herrührt, sondern wirklich von der auf der myopolaren hervorgerufenen. Die Hemmung, welche dabei die Fortleitung des Impulses erfährt, ist aber keine stetig vom Nullpunkt aus wachsende, sondern es geht ihr, wenn man ihre Entwickelung überhaupt nur langsamer zu Stande kommen lässt, ein Stadium voraus, welches sich als höhere Erregbarkeit, als vergrösserte Leitungsgüte kennzeichnet. Man sollte erwarten, dass sich dies jeder Zeit sehr einfach demonstriren lasse; dass sich, wie immer die Stromstärken gewählt werden, wenn sie nur noch nicht das Zuckungsmaximum auslösen, unmittelbar nach der Application des Ammoniaks, wenn vielleicht auch nur bei einer oder zwei Pendelschwingungen die Zuckung vergrössere. Gleichwohl ist dies nicht der Fall, und wir bedurften des besonderen Kunstgriffes, Stromstärken zu wählen, welche dem Anfang der 3. Stufe nach Heidenhein entsprechen, wodurch also beide Zuckungsformen, aber mit ungleicher Stärke, erzielt werden. Wenn dieses geschieht, sehen wir nach der Ammoniakeinwirkung die schwächere sich verstärken; bald darauf die grössere sich verkleinern, und schliesslich die Gipfelpunkte beider, während sie gleichzeitig niedriger werden, einander je mehr und mehr nähern.

Wir erschliessen die Steigerung der Erregbarkeit des Nerv also vielmehr aus der veränderten Zuckungsform d. h. aus dem gegenseitigen Werth des Zuckungsmasses und nicht aus der Vergrösserung der einen oder anderen Zuckung an sich; dazu haben wir volles Recht, wenn wir bedenken, dass wir ohne Anwendung des Ammoniak den Strom verstärken müssten, wenn wir beide Zuckungsformen auf die gleiche Höhe treiben wollten. Das gilt ganz allgemein, in welchem Zustand wir den Nerv prüfen, und es wird nur im einen Fall diese Gleichheit bei grösserer, in einem anderen Fall bei geringerer Höhe der Ordinate hergestellt werden. Sehen wir nach der Ammoniakwirkung die Zuckungen diesem Ziel der Gleichheit rasch zustreben, ohne dass sehr entfernt von der Applications-

stelle des Ammoniak die Intensität des Reizes gesteigert wird, so müssen wir annehmen, dass an der berührten Stelle ein Vorgang eingeleitet werde, welcher den Ausschlag der Reizung so ändert, als wenn der Reiz an entfernter Stelle verstärkt worden wäre; zugleich aber greifen solche Veränderungen Platz, welche den absoluten Werth der Ordinate rasch zu Null herabdrücken. Nun hat es nichts Widersinniges, wenn man sich denkt, es habe ein Stoff auf den Nerv eine Wirkung, durch welche die Anordnung der Moleküle anfänglich dahin geändert werde, dass sich die Reizaufnahme und Erregung steigere, dann aber ginge die Molekularanordnung in eine Form über, welche zu dem entgegengesetzten Effekt führt; mit einem Wort: es lässt sich leicht denken, dass ein und derselbe Stoff anfänglich errege, dann lähme. Allein unbegreiflich muss es scheinen, wenn man behaupten wollte, dieselbe Substanz steigere und vernichte die Erregbarkeit zu gleicher Zeit. Und doch deuten alle Erscheinungen, wie wir sie bis jetzt kennen gelernt haben, darauf hin, dass beide Wirkungen des Ammoniak nicht successive hinter einander auftreten, sondern intercurriren, und dass der schliessliche Effekt in jedem speziellen Fall von dem früheren oder vollständigeren Sieg des Einen über das Andere bedingt werde. Das Undenkbare kann aber nicht möglich sein; die Beobachtungen verlangen eine denkbare Auslegung. Hiefür liegen zwei Möglichkeiten vor: entweder das Ammoniak wirkt, wie leicht glaublich, auf die differenten Gewebselemente des Nerv, welche direkt oder indirekt das Mass der jeweiligen Erregbarkeit bestimmen, in verschiedener und entgegengesetzter Weise; oder die Veränderung, welche in der Molekularanordnung an der Applicationsstelle durch das Ammoniak eingeleitet worden ist, und welche rasch zu Lähmung führt, wirkt von Querschnitt zu Querschnitt im Nerv in grösserer Ausdehnung so weiter, dass die Erregbarkeit an entfernteren Punkten gleichzeitig gesteigert wird. Ein Analogon hiefür haben wir ja schon in den merkwürdigen Folgen, welche die Anlegung eines Querschnittes begleiten, wobei die durch den Schnitt herbeigeführte Zerstörung eines Querschnittes auf entferntere, unverschrte so wirkt, dass sich deren Erregbarkeit erhöht.

Bei der Unkenntniss des Zusammenwirkens der verschiedenen Gewebselemente bei dem Entstehen eines gewissen Reizstadiums, muss man von vorne herein darauf verzichten, die erst genannte Möglichkeit experimentell zu prüfen. Ob die zweite wirklich besteht, nämlich die Fernwirkung des

Ammoniak von der Applicationsstelle aus, und zwar mit entgegengesetztem Zeichen, lässt sich aus den bisherigen Versuchen nicht entscheiden, wo die höher oben angeregte Innervation den vom Ammoniak veränderten Querschnitt zu durchsetzen hat; wobei also der letzte Effekt, die Zuckung, aus der Folge des Reizes, gegenüber dem vielleicht entgegengesetzten Zustand combinirter Querschnitte resultirt. Man wird hierüber aber Gewissheit erlangen, wenn man die Folgen untersucht, welche die Application auf Stellen hat, die zwischen der erregten Strecke und dem Centrum liegen. Nach Allem, was uns die Nervenphysik bis jetzt gelehrt hat, wird es als sicher betrachtet werden dürfen, dass sich der Erregungszustand, welcher sich von einem bestimmten Querschnitt aus in der einen Richtung geltend macht, auch nach der entgegengesetzten fortpflanze.

II. Abtheilung.

Es sollen jetzt die Folgen geprüft werden, welche die Application des Ammoniak auf die extrapolare centrale Nervenstrecke begleiten; diese Untersuchung zerfällt in mehrere Abschnitte je nach der Natur des angewendeten Reizes. Ich beginne mit der Reizung durch

absteigende Kettenströme.

Im Allgemeinen hatten wir wieder die gleiche Anordnung, nämlich die nicht polarisirbaren Elektroden, den Strom des Grove'schen Bechers, den Rheostat, eingeschaltet und mit 1 Theil concentrirter Kupfervitriollösung auf 500 Wasser gefüllt; das Metronom, welches 47 Doppelschwingungen in der Minute machte, und dessen Werk während der Dauer je eines Versuches ununterbrochen in Gang blieb. Die Versuche sind so geordnet, dass die Applicationsstelle des Ammoniaks immer weiter von der Anode wegrückt. Ich schicke jedem Versuch die entscheidende tabellarische Uebersicht voraus, und gebe dann hinterher die spezielleren Bedingungen und Umstände an, welche dabei berücksichtigt wurden. Die Schreibfläche bewegte sich vor dem Zeichenhebel mit nahezu gleichmässiger Geschwindigkeit so vorbei, dass die Zuckungsreihen Schraffirungen bildeten und einen leichten Ueberblick gestatteten. Die Belastung (16 Gramm) war immer gleich gelassen, und die Abscisse vor Beginn des Versuches gezogen, nachdem die elastische Nachwirkung unmerklich geworden war. Die Zeit ist nach Minuten angegeben, die Zuckungsgrösse nach der Ausmessung der gezogenen Linien ohne Reduction in Millimetern.

Versuch I.

Vor der Einwirkung des Ammoniak.			Nach der Einwirkung des Ammoniak.		
Zeit	Natur der Zuckung	Grösse	Zeit	Natur der Zuckung	Grösse
1	Schliess.	18	0,5—1	Schliess.	15,5
	Oeffnung.	4,3			(seltner aussetzend)
10	Schliess.	14	3	Schliess.	13
	Oeffnung.	2,5			

Der Rheostatenstand war hiebei 53 Cent. Unmittelbar vor der Ammoniakeinwirkung kamen auf 29 in stetiger Abnahme begriffene Oeffnungszuckungen 11 Schliessungszuckungen. Nach der Einwirkung setzte die allein noch herrschende Schliessungszuckung fast bei keinem Pendelschlag mehr aus. Die speciellen Bedingungen für den Versuch waren:
Länge der myopolaren Strecke 10,5 Mm.
Länge der centripolaren Strecke 36 Mm.
Länge der intrapolaren Strecke 11 Mm.
Abstand der Applicationsstelle des Ammoniak von der Anode 4 Mm.
Ausdehnung der berührten Stelle 12,5 Mm.

Versuch II.

Vor der Einwirkung des Ammoniak.			Nach der Einwirkung des Ammoniak.		
Zeit	Natur der Zuckung	Grösse	Zeit	Natur der Zuckung	Grösse
1	Schliess.	zwischen 10 u. 20 schwankend	0,5	Schliess.	zwischen 3 u. 17 schwankend
2	Schliess.	zwischen 3 u. 15,5 schwankend	2	Schliess.	12,5
				Oeffnung.	von 1 an wachsend
			3	Schliess.	11,5
				Oeffnung.	6
			5	Schliess.	9
				Oeffnung.	9
			7	Fast nur Oeffnung.	6,5

Der Rheostatenstand war 73,5 Cent. Es waren hiebei keine stetig wachsenden oder abnehmenden Zuckungen zu erzielen, sondern sie nahmen periodisch immer plötzlich ab, dann wieder allmählich zu, und es liess sich nur so viel sicher erkennen, dass vor der Ammoniakwirkung auf 29 Zuckungen nur 7 Zuckungen trafen, welche dem bei diesem Rheostatenstand zu erreichenden Maximum entsprachen, während un-

mittelbar nach der Ammoniakwirkung auf 29 Zuckungen 15 dem Maximum angehörige zu zählen waren. Fünf Minuten nach der Application des Ammoniak hörten die Schwankungen, d. h. die periodischen Vergrösserungen und Verkleinerungen der Zuckungen fast ganz auf, zum Beweis, dass sie anfänglich auch nur durch die Natur des Nerv und nicht durch Fehler des Experimentes erzeugt waren.

Die speciellen Bedingungen für den Versuch waren:
Länge der myopolaren Strecke 9 Mm.
Länge der centripolaren Strecke 35 Mm.
Länge der intrapolaren Strecke 11 Mm.
Abstand der Applicationsstelle des Ammoniak von der Anode 5 Mm.
Ausdehnung der berührten Stelle 17 Mm.

Versuch III.

Vor der Einwirk. d. Ammoniak			Nach der Einwirk. d. Ammoniak		
Zeit	Natur der Zuckung	Grösse	Zeit	Natur der Zuckung	Grösse
1	Schliess.	zwischen 9 u. 5 schwankend	3	Schliess.	2
				Oeffnung.	21
Nach der Einwirk. d. Ammoniak			4	Schliess.	2
0,5	Schliess.	12		Oeffnung.	21
	Oeffnung.	0,5—1	5	Schliess.	1
1,5	Schliess.	14		Oeffnung.	19
	Oeffnung.	4	7	Oeffnung.	14,7
2	Schliess.	2	9	Oeffnung.	9
	Oeffnung.	20			

Der Rheostatenstand war 76 Cent. Auch in diesem Fall fielen immer dazwischen einzelne Zuckungen vor der Ammoniakwirkung kleiner aus als die Maxima, welche diese Stromstärke in der weitaus grösseren Anzahl von Pendelschwingungen auszulösen vermochte. Sehr schnell machten die anfänglich verstärkten, dann plötzlich seltner werdenden Schliessungszuckungen den zuerst mit jedem Pendelschlag an Grösse wachsenden Oeffnungszuckungen Platz, welche nach $1^1/_2$ Minuten in rascher Progression ihr Maximum erreichten, um ganz allmählich an Höhe abzunehmen. An jener Uebergangsperiode war die Grösse der Oeffnungs-Zuckungen im Lauf von 15 Pendelschwingungen von 9 auf 20 gestiegen.

Die speciellen Bedingungen für den Versuch waren:
Länge der myopolaren Strecke 9 Mm.
Länge der centripolaren Strecke 32 Mm.
Länge der intrapolaren Strecke 11 Mm.
Abstand der Applicationsstelle des Ammoniak v. d. Anode 5,5 Mm.
Ausdehnung der berührten Stelle 14 Mm.

Versuch IV.

Vor der Einwirkung des Ammoniak

Zeit	Natur der Zuckung	Grösse
0—1	Oeffnung.	10—7 stetig sinkend

Nach der Einwirkung des Ammoniak

0,5	Schliess.	7
2,5	Schliess.	9
4,5	Schliess.	7

Der Rheostatenstand war 11,5 Cent. Die speciellen Bedingungen für den Versuch waren:
Länge der myopolaren Strecke 10 Mm.
Länge der centripolaren Strecke 30 Mm.
Länge der intrapolaren Strecke 11 Mm.
Abstand der Applicationsstelle des Ammoniak von der Anode 6 Mm.
Ausdehnung der berührten Stelle 6 Mm.

Versuch V.

Vor der Einwirk. d. Ammoniak

Zeit	Natur der Zuckung	Grösse
0—1	Schliess.	7

Nach der Einwirk. d. Ammoniak

0,5	Schliess.	7
1,5	Schliess.	10
	Oeffnung.	3
2,5	Schliess.	15,5
	Oeffnung.	5

Nach der Einwirk. d. Ammoniak

Zeit	Natur der Zuckung	Grösse
5	Schliess.	15,5 seltner
	Oeffnung.	6 häufiger
5,8	Schliess.	16,6 selten
	Oeffnung.	4
7,5	Schliess.	17 wieder häufiger
	Oeffnung.	2—3

Der Rheostatenstand war 85 Cent; die übrigen speciellen Bedingungen waren:
Länge der myopolaren Strecke 12 Mm.
Länge der centripolaren Strecke 35 Mm.
Länge der intrapolaren Strecke 11 Mm.
Abstand der Applicationsstelle des Ammoniak von der Anode 7,5 Mm.
Ausdehnung der berührten Stelle 14,5 Mm.

Versuch VI.

Dieser Versuch wurde so angestellt, dass zuerst ein von der Anode entfernterer Punkt des Nerv mit Ammoniak berührt wurde, dann erst ein näherer, um zu sehen, wie weit die Fernwirkung des Ammoniak reicht.

Vor der Einwirk. d. Ammoniak			Nach dem Auftragen d. Ammoniak 8 Mm. hinter der Anode		
Zeit	Natur der Zuckung	Grösse	Zeit	Natur der Zuckung	Grösse
0—1	Schliess.	12,4	0,5	Schliess.	16,8
Nach dem Auftragen d. Ammoniak 30—20 Mm. hinter der Anode				Oeffnung.	7
0—1,5	Schliess.	14	1	Schliess.	16,8
1	Schliess.	15,9		Oeffnung.	7
2	Schliess.	16,4	2,5	Schliess.	17,5
3	Schliess.	16,8		Oeffnung.	11
			3	Schliess.	18
				Oeffnung	12
			4	Schliess.	19
				Oeffnung.	16

Der Rheostatenstand war 91 Cent.; die übrigen Specialbedingungen waren:

Länge der myopolaren Strecke 8,5 Mm.
Länge der centripolaren Strecke 32 Mm.
Länge der intrapolaren Strecke 11 Mm.

Aus allen diesen Versuchen geht völlig übereinstimmend hervor, dass das Ammoniak von der Stelle aus, an welcher es den Nerv berührt und tödtet, eine Fernwirkung ausübt, welche das entgegengesetzte Zeichen hat, nämlich für den absteigenden Strom eine Erhöhung der Erregbarkeit mit sich bringt, welche sich mit der vom Kettenstrom ausgehenden Wirkung summirt. Das findet nicht blos statt, wenn die vom Ammoniak betroffene Stelle der Anode bis auf 5 Mm. nahe liegt, sondern auch wenn sie selbst 20 Mm. davon entfernt ist. Allein je näher die Applicationsstelle rückt, desto vorübergehender ist die dadurch hervorgerufene Begünstigung der Erregung durch den Kettenstrom, desto früher sinkt dieses Maass selbst unter die anfängliche Grösse. Doch liegt nicht darin der einzige Unterschied; es wird auch der Modus der Erregbarkeit durch die Ammoniakwirkung von der extrapolaren centralen Stelle her geändert, was jedoch von der anfänglichen Erregbarkeitsstufe und von der Entfernung der mit Ammoniak berührten Stelle abhängt; und zwar ergeben sich aus dem vorliegenden Material folgende Sätze:

1) War anfänglich Schliessungs- und Oeffnungs-Zuckung vorhanden, und die letztere zugleich auch häufiger, so wird die Schliessungs-Zuckung ausschliesslich, seltener aussetzend, und zum mindesten ebenso gross oder grösser als vorher, selbst bei 4 Mm. Nähe der mit Ammoniak berührten Stelle.

2) War anfänglich nur Schliessungs-Zuckung vorhanden, so entstehen constant nach einer Minute Schliessungs- und Oeffnungs-Zuckungen, selbst wenn die mit Ammoniak berührte Stelle bis zu 10 Mm. hinter der Anode liegt; dabei wächst meist die Schliessungs-Zuckung bis zu einer gewissen Zeitgrenze hin, wird aber während des allmählichen Wachsens der Oeffnungs-Zuckung entweder kleiner, oder wenigstens häufiger aussetzend, und macht, wenn die von Ammoniak getroffene Stelle weiter als 6 Mm. von der Anode entfernt ist, der ausschliesslichen Oeffnungs-Zuckung Platz.

3) War anfänglich blos Oeffnungs-Zuckung vorhanden, und im Abnehmen begriffen, so macht dieselbe (bei einer Entfernung der von Ammoniak berührten Stelle um 6 Mm.) plötzlich einer anfänglich wachsenden, dann wieder abnehmenden Schliessungs-Zuckung Platz.

4) Ist die Applicationsstelle weit (gegen 20 Mm.) von der Anode entfernt, so bleibt die ursprüngliche Zuckungsform.

Diese Aenderungen der Zuckungsformen, welche wir von geeigneten Stellen des Nerv aus durch die Berührung centraler extrapolarer Punkte mit Ammoniak herbeiführen können, beurkunden abermal wieder, dass dadurch auf der intrapolaren Strecke Zustände höherer Erregbarkeit hervorgerufen werden. Pflüger's Gesetz der Zuckung frischer Nerven lautet für den absteigenden Strom:

Stufe		
1	Schwacher Strom	Schliessungs-Zuckung Keine Oeffnungs-Zuckung
2	Mittelstarker Strom	Schliessungs-Zuckung Oeffnungs-Zuckung
3	Starker Strom	Schliessungs-Zuckung Schwache Oeffnungs-Zuckung (?)

Nun haben wir in allen unseren Versuchen mit den möglichst schwachen Strömen gereizt, d. h. mit solchen, welche eben ausreichten, mit den Pendelschwingungen längere Zeit fortlaufende isochrone Zuckungen hervorzurufen. Setzen wir jetzt die Reizbarkeitsgrade proportional den obigen Bezeichnungen der Stromstärken im Pflüger'schen Schema, so sehen wir die Stufe 2 in 3 übergehen, oder bei ausschliesslicher Oeffnungszuckung den natürlichen Zustand wieder zurückkehren. Es ist aber noch weiter eine merkwürdige Zustandsänderung im Nerv nicht ausser Acht zu lassen, welche uns später in noch auffallenderem Grad entgegentreten wird, nämlich eine längere Zeit dauernde Verkürzung des Muskels, wobei dessen Vermögen sich nach der Contraction wieder rasch zu verlängern,

auf längere Zeit in hohem Grad beeinträchtigt erscheint. Dieses Phänomen wird sich nicht an jedem Apparat mit gleicher Leichtigkeit demonstriren lassen. Ist der Zeichenhebel lang, schwer, aber vollkommen oder nahezu balancirt, schwingt er in seinem Lager sehr leicht, sind also die Schraubenspitzen, um welche sich derselbe dreht, sehr wenig angezogen, so wird der grosse Schwung der trägen Masse der Verlängerung des Muskels zu Hülfe kommen und die eigenthümliche Wirkung des Ammoniak maskiren. Das sind beiläufig auch die Bedingungen, unter welchen die Schwankungen der Kettenströme am leichtesten regellos variable Zuckungsgrössen zu Wege bringen. Schwere, nicht balancirte Hebel, welche sich zugleich mit stärker angezogenen Schraubenspitzen ihres Lagers drehen: das sind die wesentlichsten Hülfsmittel um bei den Stromschwankungen, d. h. bei Schliessen und Oeffnen der Kette, gleichmässige Verkürzungen zu erhalten und den Einfluss der verschiedensten Agentien auf die Zuckungsgrösse zu studiren; darauf beruht wesentlich mit das Geheimniss gesetzliche Veränderungen der Muskelzuckung und Reizbarkeit zu demonstriren, und seine Anwendung ist gestattet, wo es sich nur um die relativen Unterschiede, nicht um die absoluten Effekte der Reize handelt.

Wenn man nun bei einem solchen Zustand unseres graphischen Apparates und bei der mehrmals schon bezeichneten Geschwindigkeit in der Aufeinanderfolge von Schliessung und Oeffnung der Kette die Curven von den Muskeln aufschreiben lässt, ehe das Ammoniak mit dem Nerv in Berührung gekommen ist, so bemerkt man, dass 10 bis 12 Minuten und darüber (ich kenne bis jetzt überhaupt noch keine Grenze) nach jeder Verkürzung momentan die zeichnende Spitze wieder zu der anfänglich gezogenen Abscissenlinie zurückkehrt. Nachdem das Ammoniak auf der extrapolaren centralen Nervenstelle aufgetragen worden, sieht man in der Regel nach 1 bis 2 Minuten die Curven immer weniger weit zur Abscissenaxe zurückkehren, so zwar, dass man eine mit dieser Linie bald mehr bald weniger stärker divergirende erhält, wenn man die Punkte untereinander verbindet, bis zu welchen je eine Zuckungscurve wieder zurückbiegt. Diese Linie ist aber nie eine gerade, sondern so gekrümmt, dass sie sich anfangs langsamer, dann plötzlich schneller, dann wieder langsamer von der Abscisse entfernt, um ihr endlich (nach 8 bis 9 Minuten) wieder näher zu rücken. Oeffnet man auch dann, wenn die Divergenz ihren Culminationspunkt erreicht hat, für etwas längere Zeit (eine Sekunde etwa) die Kette, so schnellt die Curve sofort zur

Abscisse zurück, um sich dann, wenn das Uhrwerk wieder in Gang gebracht ist, sehr schnell aufs Neue von ihr zu entfernen. Es ist das ein deutlicher Beweis, dass nicht etwa irgend welche Klemmungen des Lagers an der Entstehung dieser Curve Schuld haben; denn sonst müssten sich diese schon vor der Ammoniakwirkung geltend machen, und könnten nicht momentan plötzlich wieder verschwinden, so oft der Gang des Uhrwerkes unterbrochen wird. Daran ist also allein die Combination von Reizung am einen Punkt und Ammoniakwirkung an einem davon entfernten Schuld. Der grösste Abstand von der Abscissenaxe, welchen ich beobachtet habe, betrug 12 Millimeter der direkten Ablesung, oder 10 % der ursprünglichen Länge, um welche der Muskel in dem Zeitraum zwischen zwei Pendelschwingungen verkürzt blieb.

Wählt man schliesslich statt der schwachen Ströme stärkere, bei welchen nahezu die Maxima von Schliessungs- und Oeffnungszuckungen ausgelöst werden, so ist begreiflich, dass dadurch der Nerv sehr schnell ermüdet wird, und die Zuckung mit jedem Pendelschlag kleiner ausfällt. Die Ammoniakwirkung macht sich aber auch hier noch, wenn gleich in anderer Weise geltend. Die starke und rasch fortschreitende Ermüdung kann nicht mehr dadurch vollständig übercompensirt werden, sondern nur theilweise. Verbindet man alle Gipfelpunkte der Schliessungszuckungen unter einander, so erhält man nach der Berührung des Nerv mit Ammoniak eine gerade Linie, welche weniger steil gegen die Abscisse abfällt, als dies vorher der Fall war, trotzdem dass die Folgen der Ermüdung durch den Reiz in rascher Progression zunehmen. Zweitens aber sieht man, dass die Linie, welche man erhält, wenn man die Gipfelpunkte aller Oeffnungszuckungen verbindet, mit der Zeit rasch von der die Schliessungszuckungen verknüpfenden divergirt, also rascher der Abscisse sich zukehrt als jene, d. h. es werden, wie bei weiterer Verstärkung des Stromes, die Oeffnungszuckungen kleiner. Auch hier geht also die zweite Stufe ohne Vergrösserung des elektrischen Reizes in die dritte über. Dass diese Deutung wieder richtig ist, geht aus einem Blick auf die Verhältnisse der Zuckungsgrössen zu einander vor Einwirkung des Ammoniak hervor. Je öfter sich hier die Reizung wiederholt und je mehr dabei der Nerv ermüdet wird, desto mehr nehmen die Schliessungszuckungen im Vergleich zu den Oeffnungszuckungen an Grösse ab, sehr bald aber nach Application des Ammoniak dreht sich dies Verhältniss gerade um.

Ich will als Beleg hiefür nur die Ausmessungen eines Beispieles geben.

Der Rheostatenstand war 3,5 Cent. Nach 19 Doppelschwingungen war die Schliessungszuckung von 21 auf 19,3, die Oeffnungszuckung von 18 auf 17,4 gesunken. Die Differenz in der Höhe beider betrug bei der ersten Doppelzuckung 3,2, bei der letzten 2,9. Nun wurde das Ammoniak in einer Entfernung von 5 Mm. hinter der Anode aufgetragen. Nach 36 Doppelschwingungen hatten wir:

Höhe der Schliessungszuckung von 18,8 auf 16,1 gefallen,
Höhe der Oeffnungszuckung von 16,1 auf 14,5 gefallen.
Die Differenz von 1,9 auf 2,2 gestiegen.

Nach 54 Doppelschwingungen war die

Höhe der Schliessungszuckung von 16,1 auf 15 gefallen,
Höhe der Oeffnungszuckung von 14,5 auf 12,8 gefallen.
Die Differenz von 2,2 auf 3,4 gestiegen.

Wir verlassen jetzt vorläufig diese Versuchsreihe und gehen zu der über, bei welcher mit dem

aufsteigenden Kettenstrom

gereizt wurde. Da ausser der Richtung des erregenden Stromes nichts weiter bei diesen Versuchen geändert worden ist, so kann ich zu den Mittheilungen ihrer Resultate sofort übergehen.

I. Versuch.

Vor der Einwirkung des Ammoniak

Zeit	Natur der Zuckung	Grösse
0—3	Oeffnung.	stetig sinkend von 14—11,5

Nach der Einwirkung des Ammoniak

0—0,3	Oeffnung.	stetig sinkend von 11,5—9
0,3—1	Oeffnung.	stetig sinkend von 9—3

Der Rheostatenstand war 125 Cent. Die Grösse der Zuckungen nimmt hier nach der Ammoniakeinwirkung in viel höherem Grad fortwährend ab als unmittelbar vorher. Die übrigen speciellen Bedingungen waren:
Länge der myopolaren Strecke 11 Mm.
Länge der centripolaren Strecke 34 Mm.
Länge der intrapolaren Strecke 11 Mm.
Abstand der Applicationsstelle des Ammoniak von der Katode 4 Mm.
Ausdehnung der berührten Stelle 13 Mm.

II. Versuch.

Vor der Einwirkung des Ammoniak			Nach der Einwirkung des Ammoniak		
Zeit	Natur der Zuckung	Grösse	Zeit	Natur der Zuckung	Grösse
0—1	Schliess.	5,5 bis 10	0—1	Schliess.	zwischen 9 u. 12,5 schwankend
1—2	Schliess.	10 bis 13	1—4	Schliess.	12,5 bis 14
2—3	Schliess.	13 bis 14,5	4—5	Schliess.	14 bis 14,4
			5—7	Schliess.	14,4 bis 11 schwankend.

Die speciellen Bedingungen waren:
Rheostatenstand 60 Cent.
Länge der myopolaren Strecke 11 Mm.
Länge der centripolaren Strecke 34 Mm.
Länge der intrapolaren Strecke 11 Mm.
Abstand der Applicationsstelle des Amm. von der Katode 5 Mm.
Ausdehnung der berührten Stelle 17 Mm.

III. Versuch.

Vor der Einwirkung des Ammoniak		
Zeit	Natur der Zuckung	Grösse
0—2	Schliess.	von 6,5 auf 16,2 steigend
Nach der Einwirkung des Ammoniak		
0—0,5	Schliess.	von 14,9 auf 4 fallend
0,5—2	Schliess.	von 4 auf 12,5 bis 15,5 steig.
2—3	Schliess.	zwischen 15,4 u. 16 schwankend
3—6	Schliess.	zwischen 16 u. 12 schwankend
6—7	Schliess.	zwischen 12 u. 13 schwankend

Obwohl hier die Zuckungsgruppen periodische Schwankungen zeigten, so lehrt ein Blick auf die graphische Aufzeichnung noch besser als die Ausmessungen der Zuckungsmaxima, welche in den einzelnen Zeiträumen auftraten, dass die nächste Wirkung des Ammoniaks auch hier in einer Verminderung des Effektes beruht, welcher von dem elektrischen Reiz herbeigeführt wurde. Die speciellen Bedingungen des Versuches waren:
Rheostatenstand 50 Cent.
Länge der myopolaren Strecke 11 Mm.
Länge der centripolaren Strecke 36 Mm.
Länge der intrapolaren Strecke 11 Mm.
Abstand der Applicationsstelle des Amm. von der Katode 6,5 Mm.
Ausdehnung der berührten Stelle 18 Mm.

IV. Versuch.

Hier wurde das Ammoniak bei ein- und demselben Nerv successive auf immer nähere Stellen des Nerv aufgetragen.

Vor der Einwirkung des Ammoniak

Zeit	Natur	Grösse der Zuckung
0—3	Schliess.	13 bis 15 wachsend
3—4,5	Schliess.	15 bis 16 wachsend
Ammoniak 19 Mm. hinter der Katode aufgetragen		
0—0,5	Schliess.	16 bis 15,8
0,5—1,5	Schliess.	15,8
Ammoniak 9 Mm. hinter der Katode aufgetragen		
0—1	Schliess.	15 anfänglich häufiger aussetzend
1—2	Schliess.	15 (schwankend)
2—6	Schliess.	15 Max. 3 Minim. (schwankend)
Ammoniak 2 Mm. hinter der Katode aufgetragen		
0—1	Schliess.	13 Max. rasch sinkend bis 2
1—2	Schliess.	12,5 Max. (schwankend).

Der Rheostatenstand war in diesem Versuch 111 Cent.
Die Länge der myopolaren Strecke 5 Mm.
Die Länge der centripolaren Strecke 31 Mm.
Die Länge der intrapolaren Strecke 11 Mm.

Bisher waren, wie in der vorigen Versuchsreihe, die möglichst schwachen Ströme gewählt; im letzten Versuch wurden wieder die Ströme so verstärkt, dass nahezu gleich starke Schliessungs- und Oeffnungszuckungen erzeugt wurden. Dabei zeigte sich:

Vor der Einwirkung des Ammoniak

In 1 Min. die Schliessungszuckung stetig von 21 auf 18,5 fallend.
„ „ „ die Oeffnungszuckung stetig von 17,2 auf 16,4 fallend.
Die Differenz ihrer Grösse von 4,2 auf 2,4 fallend.

Nach der Einwirkung des Ammoniak

Die Schliessungszuckung stetig von 18 auf 16,6 fallend; dann von 16,6 auf 14,2, endlich nach 3 Minuten auf 9,2.
Die Oeffnungszuckung stetig von 15,5 auf 14,3 fallend; von 14,3 auf 12,4, endlich nach 3 Min. auf 9,2.
Die Differenz ihrer Grössen von 2,7 auf 1,9 fallend; dann von 1,9 auf 1, endlich nach 3 Min. auf 0.

Die Schliessungszuckung nimmt also hier fortwährend rascher ab als die Oeffnungszuckung; und so zeigt sich denn auch in dieser Beziehung der Erfolg, welchen die Application des Ammoniak auf die extrapolare centrale Nervenstelle hat, gegenüber dem aufsteigenden Strom gerade umgekehrt von dem, welchen wir bei dem absteigenden beobachtet hatten.

Es ergiebt sich nämlich für den aufsteigenden Kettenstrom, dass seine Wirkung auf den Muskel durch die Fernwirkung des Ammoniak, welche sich auch hierbei wieder in allen Fällen zeigte, herabgesetzt wird, und zwar um so mehr, je näher die Applicationsstelle der Katode liegt. Wie in der ersten Versuchsreihe ist aber auch hier diese Wirkung eine, wenn auch 3 bis 5 Minuten dauernde, doch vorübergehende. Zu beachten ist, dass gerade bei grosser Nähe der Applicationsstelle an der Elektrode die Unterschiede in der Wirkung des Ammoniak noch so deutlich sind: rasche wenn auch kurz dauernde Vergrösserung der Zuckung bei dem absteigenden, das Entgegengesetzte bei dem aufsteigenden Strom. Es beseitigt dies Ergebniss den Einwurf als modificire die ganz geringe Menge von Ammoniakdampf, welche sich bei der Berührung des Nerv mit dem Miniaturpinsel in der nächsten Atmosphäre desselben ausbreitet, die intrapolare Strecke. Das müsste aber dann immer auf gleiche Weise geschehen, könnte aber nie die entgegengesetzten Effekte haben.

Endlich ist noch darauf hinzuweisen, dass bei Reizung mit dem aufsteigenden Strom, so weit meine Erfahrungen reichen, die Zuckungsform niemals umschlägt, wie das so häufig bei dem absteigenden Strom bemerkt wurde.

Beruht also vielleicht die Fernwirkung des Ammoniak, welche wir auf so weite Strecken hin in allen Versuchen haben constatiren können, nicht auf einer Zustandsänderung, welche wir mit „höherer Erregbarkeit" bezeichnen dürfen? Dass sie auf einer ganz bestimmten gesetzlichen Umlagerung der Moleküle beruhen müsse, in Folge deren der absteigende Strom wirksamer wird, der aufsteigende demgemäss unwirksamer, leuchtet ein; und es würde nicht schwer auf Grund der Erfahrungen, welche zu der gegenwärtig herrschenden Molekular- und Reiz-Theorie berechtigen, die Form dieser Umlagerung näher zu bezeichnen. Damit entscheiden wir aber die obschwebende Frage nicht; denn wenn wir je nach der Stromrichtung, also je nach der Eigenthümlichkeit des Reizes, die für die Beweglichkeit der Moleküle durch das Ammoniak gewonnenen Vortheile im einen Fall wieder paralysiren, im anderen unterstützen, kommen wir nie in's Klare darüber, ob man eine in grösseren Strecken über den Nerv verbreitete Steigerung der Erregbarkeit annehmen dürfe, oder nur eine solche, welche den Erfolg ganz bestimmter Reize erhöhe.

Dies führt uns denn auf eine neue Versuchsreihe, in welcher Reize mehr allgemeiner Form, nämlich chemische und mechanische zur Anwendung kamen, in welchen zugleich auch

die Tödtung eines Nervenstückes mit Ammoniak ersetzt wurde durch mechanische Trennung oder durch Combination beider Mittel.

III. Abtheilung.

Die kleine Vorrichtung zur Erzeugung des Kochsalztetanus, welche bei der Mittheilung der ersten Versuchsreihe (Abtheilung I) beschrieben wurde, ist auch in den jetzt zu besprechenden beibehalten worden. Ich wurde von der eben angeregten Frage nach der erregenden Fernwirkung des Ammoniak auf eine Reihe anderer weitergeführt, welche ich nun nacheinander, wie sie sich bildeten, und durch die Experimente beantwortet wurden, besprechen will.

Die erste Frage also war, wie erwähnt, die: ob sich die Erhöhung der Erregbarkeit in der jenseits der Applicationsstelle des Ammoniak gelegenen Nervenstrecke auf dem Wege der chemischen Reizung zeigen lasse? Diese Frage musste sich erledigen, wenn man den vom Kochsalz erregten Tetanus graphisch aufzeichnen liess und beobachtete, welche Modification eintritt, wenn Ammoniak wie gewöhnlich mit dem Miniaturpinsel auf ein dem Centrum näheres Nervenstück aufgetragen wird. Das Wort Tetanus darf hier aber nicht im strengen Sinn genommen werden; denn es kennzeichnet keineswegs dasselbe die charakteristische Wirkung des Kochsalzes. Versteht man nämlich unter Tetanus eine längere Zeit auf nahezu gleicher Höhe sich haltende Muskelverkürzung, so muss man sagen, dass diese Form oft sehr spät, oft gar nicht durch die Kochsalzreizung herbeigeführt wird, jedenfalls aber erst nach langer und ausgedehnter Einwirkung. So wie wir die Reizung vornehmen, nämlich von einem etwa nur 1 Mm. langen Nervenstück aus, ist das, was man die klonische Form nennt, vorherrschend. Es sind wechselnde Verkürzungen und Verlängerungen des Muskels, wobei sich allerdings die Linie der Gleichgewichtshöhen je mehr und mehr, oft auch mit Schwankungen im entgegengesetzten Sinn, von der Abscissenaxe entfernt. Es steht fest, dass diese Form ihren Ursprung einer weniger intensiven Reizung verdankt, als die erstere. Und darauf ist die ganze Anordnung des Versuches gegründet. Der Uebergang von der klonischen in die tonische Form ist uns ein viel sicherer Anhaltspunkt als die Schwankung in der Excursion der einzelnen Zuckungen, welche bei der blossen Kochsalzwirkung schon unberechenbar von Moment zu Moment variirt. Freilich entscheidet weiter auch die plötzliche Ablenkung der mittleren Linie für die Gleichgewichtshöhen von

der Abscisse, und diese beiden Merkmale werden uns untrüglich die Fernwirkung des Ammoniak kennen lehren. In den jetzt zu beschreibenden Versuchen war der Abstand der mit Kochsalz gereizten kurzen Nervenstrecke vom Muskelkopf 13—15 Mm. Das Ammoniak wurde auf der centralen Seite des Nerv in einer Entfernung von 5—6 Mm. hinter dem Kochsalzwürfel gürtelförmig mit 4—5 Mm. breitem Strich aufgetragen. Die Länge der Muskeln schwankte zwischen 29 und 30 Mm. Ich gehe nun zu den Resultaten der einzelnen Versuche zuerst über:

Versuch I.

Nachdem durch das Kochsalz mit nach und nach abnehmenden Excursionen 99 Zuckungen aufgezeichnet worden, und dabei die mittlere Curve der Gleichgewichtshöhen bis auf 25,6 Mm. der directen Ausmessung gestiegen war, wurde das Ammoniak aufgetragen; sofort schnellte sie gegen die Abscisse hin zurück; dann folgten in einer Höhe von 23 Mm. im Mittel, einige wenige, etwas höhere Zuckungen, um in einer kaum noch zitternden Curve bis auf 34 Mm. sich zu erheben. Nun wurde der Nerv hinter dem Kochsalzwürfel durchgeschnitten. Sofort sank die Curve geradlinig bis 27 Mm., und nachdem vor dem Kochsalz hart am Muskel der Nerv zum zweitenmal durchgeschnitten worden, sank die Curve plötzlich bis auf 23 Mm., um von da ab ganz langsam der Abscisse zuzulenken.

Versuch II.

Nach 27 stark oscillirenden Zuckungen, wodurch die Curve bis auf 10 Mm. empor getrieben worden, stieg sie nach Anwendung des Ammoniak sehr rasch auf 23; hielt sich daselbst einige Zeit fast geradlinig, fiel dann auf 16, und begann langsam wieder in immer grösseren Oscillationen zu schwanken. Nach dem ersten Schnitt hinter dem Muskel entstand eine plötzliche, länger bleibende Verkürzung mit 19 Mm. Ordinate; und erst nach dem Schnitt vor dem Kochsalz hart am Muskel kehrte die Curve wieder zur Abscisse zurück.

In den nächsten Versuchen sind nun auch die Zeiten genau berücksichtigt, und der Kürze wegen bezeichne ich mit *D* den Schnitt durch den Nerv hinter dem Kochsalz, mit *D'* den Schnitt durch den Nerv vor dem Kochsalz, also zwischen ihm und dem Muskel. Immer wurde der Schnitt mit einer scharfen Scheere gemacht und wo nichts weiter bemerkt ist, hart am Eintritt des Nerv in den Muskel geführt.

Versuch III.

Beginn der Zuckung 3,5 Minuten nach Berührung des Nerv mit dem Kochsalz.

In 4 Minuten 37 Zuckungen bis zu 22 Mm. Ordinate. (cfr. Curve 2 der Tafel*).

Nach dem Auftragen des Ammoniak schnellt die Curve bis auf 2 Mm. gegen die Abscisse zurück, hält sich in dieser Höhe 0,5 Minuten, steigt dann in 0,4 Minuten mit einigen wenigen starken (c. 5 Mm. hohen) Schwankungen bis 21 Mm. empor; in der nächsten halben Minute erhebt sie sich fast ohne alle Schwankungen bis 22,8; in der folgenden halben Minute zu 28 Mm. Nach der Anlegung von D schnellt sie bis 42 empor, und bedarf 1 Minute um fast ohne Oscillationen auf 31 herabzusinken. In derselben Weise gelangt sie nach 2 Minuten zu 27, nach 3 Minuten zu 24 Mm. Ordinate. Nachdem D' angelegt und dadurch eine Zuckung bis 27 Mm. Höhe herbeigeführt worden, nähert sich die Curve geradlinig der Abscisse in folgender Weise:

nach	0,5	Minuten	ist	die	Ordinate	20,5
-	2,5	-	-	-	-	16
-	5,5	-	-	-	-	13
-	8,5	-	-	-	-	12

Versuch IV.

Beginn der Zuckungen 2,5 Minuten nach Berührung des Nerv mit dem Kochsalz.

Vor dem Auftragen des Ammoniak: 41 Zuckungen mit der schliesslichen Maximalordinate von 21 Mm. in 1 Minute.

Nach dem Auftragen des Ammoniak: plötzliche Rückkehr zur Abscisse, 1 Minute; Verweilen daselbst; plötzliches Steigen der Curve bis 21, und von da allmälig weiter und fast ohne alle Oscillationen in der 3. Minute bis 24, 5 Mm.

Nach Anlegung von D: in 3 Minuten Sinken der Curve mit schwachem Zittern bis 21 Mm.

Nach Anlegen von D': sofortiges Sinken bis 13,5; nach 1 Minute bis 8, nach 4 Minuten bis 7,5.

Versuch V.

Vor dem Auftragen des Ammoniak: in 0,5 Minuten 20 Zuckungen mit der schliesslichen Maximalordinate von 19 Mm. Höhe.

---

*) Die Curve 2 ist nach der Anlegung des Schnittes treppenartig deswegen, weil man um den Raum der Schreibfläche auszunützen immer nur nach längeren Zeiträumen die Tafel horizontal weiter schob.

Nach dem Auftragen des Ammoniak: sofortiges Zurückschnellen der Curve zur Abscisse; 1 Minute Verweilen in dieser, dann stossweises rasches Steigen in 0,5 Minuten bis 19,5. Die Oscillationen werden immer kleiner; die Ordinate hat nach 2,5 Minuten die Höhe von 26 Mm. nach 3,3 Minuten 30,5, nach 3,5 Minuten von 28,5 Mm. erreicht.

Folgen von *D:* Sinken der Curve bis 25; in 1 Minute bis 21; in 2 Minuten bis 14 Mm.

Folgen von *D'*: Sinken der Curve bis 15; nach 2,5 Minuten bis 10; nach 4,5 Minuten bis 9,8 Mm.

Als beste Methode und geeignetster Zeitpunkt hat sich für die Versuche erwiesen, wenn man nur wenige klonische Zuckungen durch das Kochsalz erregen lässt, und dann das Ammoniak aufträgt. Die Resultate dieser Versuche sind: Die eingeleiteten Convulsionen werden in dem Moment, in welchem das Ammoniak aufgetragen ist, sistirt; und zwar kann diese Arretirung bis zu 0,5 Minuten betragen. Dabei biegt die Curve um so vollständiger zur Abscisse zurück, je weniger lang vorher die Convulsionen gedauert hatten, so kräftig auch die einzelnen Zuckungen gewesen sein mochten. Nach Ablauf dieser ersteren kürzeren Periode tritt sowohl eine viel grössere, als auch eine viel constantere Verkürzung, der eigentliche Tetanus ein, so zwar, dass die Oscillationen oft bis zum Unmerklichen klein werden. Es ist also erwiesen, dass durch das Auftragen des Ammoniak's über die Grenze seiner Applicationsstelle hinaus eine Minuten-lange andauernde, allmälig im Abnehmen begriffene Erhöhung der Reizbarkeit mit der Zeit eintritt, und wie es scheint mit dem Moment, in welchem das davon unmittelbar getroffene Stück vollkommen getödtet ist.

Wird dann zwischen der mit Ammoniak berührten und der mit Kochsalz gereizten Stelle der Nerv durchschnitten *(D)*, so ist merkwürdig, dass der vom Ammoniak hervorgerufene Zustand nicht sofort durch die Trennung des Nerv aufgehoben wird, wenn man auch sieht, dass von dem Augenblick an, wenn auch nur mit sehr kleinen Oscillationen die Tetanuscurve gegen die Abscissenaxe zurückbiegt. Dieser Zustand kann bis 4 Minuten andauern. Wird schliesslich der Nerv hart an seinem Eintritt in den Muskel durchgeschnitten, so sieht man nur wenn man alle Akte des Versuches sehr rasch hat aufeinander folgen lassen, die Curve momentan fast bis zur Abscisse zurückgebogen; ausserdem sinkt sie sehr langsam dahin zurück, ja erreicht sie in vielen Minuten meist noch nicht.

Es war nun die Frage: Gehören alle diese Eigenthümlichkeiten des modificirten Tetanus dem Ammoniak als Erregungsmittel zu, oder sind die beobachteten Erscheinungen allgemein nur Folgen des Todes hinter der mit Kochsalz gereizten Stelle, und wie verhält sich dagegen die Wirkung des Anlegens eines Querschnittes hinter dem mit Kochsalz gereizten Stück, ohne vorausgegangene Berührung des Nerv mit Ammoniak? Zu dem Ende wurde die nächste Versuchsreihe angestellt, wobei der Nerv unmittelbar hinter der mit Kochsalz gereizten Stelle nach Eintritt der Convulsionen mit einer scharfen etwas befeuchteten Scheere plötzlich durchgeschnitten wurde.

Versuch VI.

Die Krämpfe beginnen 3 Minuten nach Berührung des Nerv mit dem Kochsalz. 1,5 Minuten später stossweise Zuckungen bis zu 19 Mm. Ordinate, aber sehr langsam sich entwickelnd und plötzlich wieder verschwindend. In der 2. Minute werden die Zuckungen häufiger, die Curven schnellen dazwischen aber noch immer sehr häufig bis zur Abscisse zurück, und so finden wir noch am Ende der dritten Minute Oscillationen von 12,5 Mm. Ordinate. Im Augenblick der Durchschneidung des Nerv *(D)* entsteht eine mächtige Zuckung, deren Ordinate 45,5 Mm. beträgt. Alle Oscillationen sind fast vollkommen verschwunden, und der Tetanus entwickelt; aber unmittelbar nachher fängt schon die Curve desselben wieder an sich zu senken, jedoch langsam, nämlich:

in der 1. Minute von 45,5 auf 35,4
in der 2. Minute von 35,4 auf 31
in der 3. u. 4. Min. von 31 auf 27.

Der Muskel hatte 32 Zuckungen gemacht. — Jetzt wird der Nerv an seinem Eintritt in den Muskel durchschnitten, es erfolgt eine kleine Zuckung, die Curve kehrt aber momentan und präcis wieder bis 27 Mm. Ordinatenwerth zurück. Die Verlängerung des Muskels schreitet fort, aber äusserst langsam, wie man aus den neben die Angabe der Minuten gestellten Ausmessungen der Ordinaten sieht:

Minute	Ordinate
1	25
2	24
4	23
6	22
17,5	17,4

Nr. 3 der Tafel giebt den Abdruck der Originalcurve, von deren treppenförmigem Ende hinter D' das oben in der Anmerkung zu Curve 2 Erwähnte gilt.

Versuch VII.

Die Krämpfe beginnen zwei Minuten, nachdem der Nerv auf das Kochsalz gelagert worden. Ich liess 67 Zuckungen in 4,5 Minuten erfolgen, wobei die Curven der letzten mit 22,5 Mm. Ordinaten immer wieder zur Abscisse zurückkehrten. In demselben Augenblick machte ich den Schnitt *(D)*, und es erfolgte eine Zuckung von 46,3 Mm. Ordinate. Die Curve bog dann rasch bis 37 Mm. Ordinate zurück, von da ab sehr langsam, und mit verschwindend kleinen Oscillationen. Der Tetanus war also vollkommen ausgebildet. In folgender Weise nahm die tetanische Verkürzung ab:

Minute	Ordinate
1	37
2	34
3	31
4	29
4,5	28

Jetzt schnitt ich den Nerv rasch an seinem Eintritt in den Muskel ab *(D')*, nach einer momentanen Zuckung bis 34 Ordinate kehrte die Curve wieder auf 28 zurück, und sank langsam in folgender Weise:

Minute	Ordinate
0,5	27
2,5	25
26,0	18,2

Versuch VIII.

Die Krämpfe begannen nach 5 Minuten. Rasch erfolgten aber grosse Zuckungen. Ich liess 9 an der Zahl aufzeichnen, von welchen die letzte 20 Mm. Ordinate hatte; jetzt schnitt ich den Nerv durch *(D)*; sofort erfolgte eine Zuckung mit 38 Mm. Ordinate und der Tetanus war vollständig entwickelt, so dass sich die Curve geradlinig der Abscisse, aber langsam näherte; ihre Ordinate sank nämlich in 1,5 Minuten von 38 auf 24,6 und hatte nach 2 Minuten erst die Höhe von 24 Mm. erreicht. Nun wurde der Nerv hart am Eintritt in den Muskel abgeschnitten *(D')*, worauf die Curve zunächst um 2 Mm. sank; in der nächsten halben Minute war die Ordinate von 22 auf 18 und eine Minute darnach bis 11,8 gefallen.

Alle Resultate dieser Versuche stimmen constant in Folgendem überein:

Die Durchschneidung *(D)* veranlasst, gleichgültig ob nach längerer oder kürzerer Dauer der vom Kochsalz herbeigeführten

Convulsionen, eine sehr heftige Zuckung — keine temporäre Sistirung der Krämpfe, sondern unmittelbar die volle Entwicklung des Tetanus; darauf folgt eine stetige, langsam vorschreitende Abnahme der tetanischen Verkürzung, nie eine dazwischen eintretende Zunahme.

Die Abnahme erfolgt in der Zeit um so rascher, je früher man nach Beginn der Krämpfe den Nerv durchschnitten hatte *(D)*. Wird ferner der Nerv zum zweitenmal, nämlich hart am Eintritt in den Muskel, durchschnitten *(D')*, so kehrt die Curve nicht sofort zur Abscisse zurück, sondern um so unvollständiger und später, je später diese Durchschneidung *(D')* erfolgt war.

Die Durchschneidung *(D)* verstärkt also sofort und momentan die eingeleitete Verkürzung, wandelt augenblicklich die klonische Form in die tonische um, bewirkt aber, dass die hervorgerufene tetanische Verkürzung immer geringer und geringer im Verlauf der Zeit wird; zugleich aber bleibt in dem Muskel ein erhöhter Reizzustand zurück, was man daraus sieht, dass derselbe nach dem zweiten Schnitt *(D')* nicht sogleich, sondern nur sehr langsam seine ursprüngliche Länge wieder erreicht.

Diesen auffallenden Erscheinungen gegenüber musste man sich sofort fragen, ob nicht gewisse Eigenthümlichkeiten des Schreibapparates dabei ins Spiel kommen. Man musste dessen Beweglichkeit prüfen. Man konnte daran denken, dass wenn der Hebel durch langsame Drehung in einen gewissen Winkel auf einige Zeit eingestellt war, irgend welche Klemmungen entstehen, und die Grösse der „ruhenden Reibung" so beträchtlich wird, dass der Hebel nicht momentan zurückschnellt, wenn die Zugkraft des Muskels plötzlich erlischt; denn man erinnert sich, dass die Schraubenspitzen des Lagers für alle Versuche etwas mehr als gewöhnlich angezogen waren. Ich verband deshalb den Hacken, an welchem sonst die Sehne des Muskels befestigt ist, mit einem dünnen Faden, welchen ich in lothrechter Linie zu dem einen balancirten Arm eines Waagbalkens führte und dort anband. Auf die entgegengesetzte Waagschale legte ich so viel Gewichte als zur horizontalen Stellung des Zeichenhebels nothwendig war. Dies Gewicht betrug 16 Grm. Da in den Versuchen dieselbe Anfangsstellung eingehalten wurde, so belief sich also auch immer das an der Sehne hängende Gewicht auf 16 Grm. Ich legte jetzt 18,5 Grm. statt 16 auf und führte dadurch den Hebel so weit herab, dass die zeichnende Spitze eine Linie von 35 Mm. Länge aufzeichnete. In dieser Winkelstellung blieb der Hebel 5—8 Minuten. Nun wurden von den Gewichten nach und nach, und zwar von den kleinsten angefangen, einzelne mit der grössten Vorsicht weggenommen.

Nach Wegnahme von 1,5 Grm. erhob sich die Zeichenspitze bereits auf 6 Mm.; nach Wegnahme von 2,5 Grm. auf 17 Grm.; nach Wegnahme von 3,5 Grm. stieg sie sofort bis zu einer Höhe von 39 Mm. empor. Nun hatten wir auf dieser Seite noch immer 15 Grm., welche die Drehung des Hebels für sich beschränkten. Es ist also erwiesen, dass die Hindernisse, welche sich der Rückkehr der Verkürzungscurve zur Abscisse in den obigen Fällen entgegenstellen, fast ausschliesslich in dem Muskel und zum kleinsten Theil in der Trägheit des Schreibapparates gelegen sein müssen.

Ausserdem überzeugte ich mich auf andere Weise, dass bei den gegebenen Belastungen des Muskels keine derartigen Nachwirkungen der plötzlichen mechanischen Continuitätstrennung auftreten, wenn nicht vorher durch das Kochsalz Convulsionen eingeleitet worden waren. Ich legte den Nerv wie gewöhnlich auf den Schaufeln des Apparates horizontal und also mit Ausnahme der wenigen Unterstützungspunkte hohl. Dann machte ich, von hinten angefangen, wie gewöhnlich mit der befeuchteten Scheere einen Schnitt um den anderen. Jedesmal erfolgte eine Zuckung, deren Curve aber sofort zur Abscisse zurückschnellte und in dieser bis zum nächsten Schnitt verblieb. Während aber nach Beginn der Kochsalzkrämpfe solche Zuckungen einen Ordinatenwerth von 40—42 Mm. erlangten, war die höchste Ordinate, welche ohne gleichzeitige Kochsalzreizung durch den Schnitt erreicht werden konnte nur 17 Mm., obwohl sich die Muskellängen in beiden Fällen höchstens um 1—2 Mm. von einander unterschieden.

Es verbleibt also auch nach Durchschneidung des Nerv hart am Eintritt in den Muskel in Folge der sehr weit davon abgelegenen Reizung durch Kochsalz ein Beharrungszustand in dem Muskel, und es erhob sich die Frage, ob man diesen momentan wieder vom Nerv aus zu heben vermöge. Ich legte deshalb den Nerv wie gewöhnlich auf Kochsalz und wartete den Beginn der Convulsionen ab; hierauf wurde hinter dem Kochsalz der Schnitt *D* geführt und das Maximum des Tetanus abgewartet. Sofort trug ich zwischen der Applicationsstelle des Kochsalzes und dem Eintritt des Nerv in den Muskel Ammoniak mit dem Miniaturpinsel auf. Die Ausmessungen der bei diesem

IX. Versuch

gewonnenen Curven sind folgende:

Durch das Kochsalz wurden 9 Zuckungen veranlasst, wovon die Curve der ersten 19 Mm. Ordinate erreichte; die übrigen

kehrten treppenartig zur Abscisse zurück. Nun erfolgte der Schnitt *D*.

Die Ordinate der Zuckungscurve betrug 36 Mm. Der Tetanus war vollständig entwickelt. Der Gang seiner Curve, welcher bis zum Auftragen des Ammoniak ganz geradlinig war und erst nachher ganz schwache zitternde Oscillationen zeigte, lässt sich aus folgenden Zahlen ersehen:

Vor der Berührung mit Ammoniak

Zeit	Ordinate
0—0,5 Minute	36—34 Mm.

Ammoniak nahe dem Eintritt in den Muskel auf den Nerv aufgetragen

sofort	36 — 24,5	Mm.
0—1	24,5— 13	-
1—2	13 — 10,3	-
2—4,5	10,3— 8	-

Man sieht also, dass die Tetanuscurve nach der Application des Ammoniak zwar rasch und unmittelbar der Abscisse zugelenkt wird; aber die Verlängerung erfolgt so langsam, dass jene selbst nach 4 Minuten noch nicht wieder erreicht ist. Auch lehrt dieser Versuch sehr deutlich, dass die lang dauernde nachträgliche Verkürzung nicht Folge solcher Veränderungen sein kann, welche bei Wärme-Einwirkung oder sehr langem Tetanisiren zu einer Starre führen, deren Ursache in der Muskelsubstanz liegt. Hier war der Tetanus so kurz dauernd, dass man die Ursache seiner Nachwirkung unmittelbar in den Vorgängen suchen muss, welche direkt im Nerv hervorgerufen wurden und nicht in den secundären Zuständen der Muskelsubstanz.

Ich habe weiter die Versuche dahin modificirt, dass ich zuerst hinter dem Kochsalz *(D)* dann vor dem Kochsalz *(D')* durchschnitt und schliesslich auf das Nervenstück nahe am Muskel Ammoniak auftrug. In Versuch X waren in Folge der Kochsalzwirkung in 4 Minuten 30 Zuckungen, in Versuch XI in 6,5 Minuten 24 Zuckungen abgewartet worden. Dort war die Maximalordinate der letzten Zuckung 21,8, hier 25.

Nun wurde der Schnitt *D* angelegt, die Ergebnisse waren folgende:

Versuch X.

Die tetanische Verkürzung steigerte sich nach dem Schnitt so, dass nach 0,3 Minuten die Ordinate 31,5 war; dann nahm sie rasch ab und sank 0,5 Minuten nach dem Schnitt auf 18,5. Jetzt wurde der Schnitt *D'* angelegt und die Ordinaten der

Curve sanken in Folge dessen im Lauf von 0,5 Minuten von 18,5 auf 12. Als jetzt Ammoniak aufgetragen wurde, näherte sich ohne plötzliche Wendung die Curve in einer Minute der Abscisse so, dass die Ordinate von 12 auf 10,9 sank.

Versuch XI.

Die Tetanuscurve sank hier nach dem Schnitt von 45 auf 30 in einer Minute, in der nächsten von 30 auf 29. Jetzt wurde der Schnitt *D'* angelegt; langsam sank in nicht ganz $^1/_2$ Minute die Curve auf 24. Sofort ward der Nerv mit Ammoniak berührt, in Folge dessen die Curve stetig der Abscisse zubog, nach 2 Minuten aber noch eine Ordinate von 19 Mm. zeigte.

Versuch XII.

Auch so gelang es also nicht jenen Beharrungszustand im Muskel momentan aufzuheben. Man musste sich fragen: Entstehen durch Ammoniak oder Durchschneidung *(D)* ganz eigenthümliche Umlagerungen der Moleküle, oder wirken diese Agentien nur überhaupt wie irgend welche Impulse, deren Wirkung in so hohem Mass erhöht wird, weil sie den Nerv treffen, dessen Reizbarkeit durch den eingeleiteten Kochsalztetanus nur besonders erhöht ist? Kann man sie etwa durch intercurrente elektrische Stösse ersetzen? Ich lagerte den Nerv wie gewöhnlich über das Kochsalz, legte den kleinen Würfel auf, und brückte ihn 30 Mm. hinter demselben über die nicht polarisirbaren Elektroden, deren Spannweite 5 Mm. war. Als nun die Convulsionen 2,5 Minuten später eingetreten waren und 0,5 Minuten gedauert hatten, schickte ich von Zeit zu Zeit den absteigenden Strom einer Grove'schen Kette bei niedrigstem Rheostatenstand durch den Nerv, wodurch in den ersten $1^1/_2$ Minuten Zuckungen mit gleichbleibender Ordinate (14 Mm. Höhe) ausgelöst wurden; erst mit Zunahme des Kochsalztetanus von 1,5—2 Minuten wuchs die Ordinate bis 19. Allein durch keinen der 13 Stösse konnte die klonische Form in die tetanische übergeführt werden; die Oscillationen waren und blieben grösser, zwischen 3 und 7 Mm. schwankend, und die mittlere Curve der Gleichgewichtshöhen hielt sich auf 10,9 Mm., als der Schnitt *D* angelegt wurde. Im Moment entstand eine grosse Zuckung mit der Ordinate 25 Mm., die Convulsionen waren in anhaltenden Tetanus verwandelt, wobei in schwach aufwärts gekehrtem Bogen die Curve eine volle Minute lang die Höhe von 25 Mm. im Durchschnitt behauptete. Jetzt wurde Ammoniak vor der Kochsalzstelle aufgetragen; die

Curve bog sofort der Abscisse zu, aber äusserst langsam, wie folgende Ausmessungen lehren:

Zeit in Minuten	Ordinate in Mm.
0—1	25 — 15
1—2	15 — 13,7
2—3	13,7 — 12,2
3—4	12,2 — 11,5

Noch merkwürdiger waren die Ergebnisse des

XIII. Versuches,

in welchem der volle Kettenstrom mit Ausschaltung des feuchten Rheostaten in Anwendung kam, wodurch Zuckungen mit der Ordinate von 42 Mm. Höhe ausgelöst wurden. Statt dass dadurch, wie durch den Schnitt, die klonische Form in die tetanische übergeführt worden wäre, blieb sie sofort bestehen, als die Krämpfe schon länger (4 Minuten) gedauert hatten, so oft man die Ströme in Intervallen von $^1/_2$ Minute durch den Nerv schicken mochte. In den ersten zwei Minuten wurde nach jedem elektrischen Stoss die Zuckung ganz sistirt, die Curve schnellte sofort zur Abscisse zurück und verblieb in ihr bis zu $^1/_2$ Minute. Als dann im Verlauf der Zeit die Convulsionen stärker geworden waren, sah man fast ausschliesslich nach jeder elektrischen Reizung die mittlere Curve der Gleichgewichtshöhen sehr steil der Abscisse zulenken, so dass ihre Ordinate z. B. nach 8 Minuten nur noch 5 Mm. betrug; als aber jetzt zufällig der Nerv in der Nähe des Kochsalzwürfels mechanisch berührt wurde, entstand eine Zuckung mit 41 Mm. Ordinate, die Oscillationen waren sehr klein, der Tetanus also fast momentan entwickelt und seine Curve sank in einer Minute erst bis zu 19 Mm. Höhe der Ordinate. Neue Kettenströme riefen die klonische Form wieder hervor, neue mechanische Berührung die tetanische.

Was also Ammoniak und Durchschneidung bewirkt, insoferne dadurch ein Reiz ausgeübt wird, lässt sich nicht durch den heftigsten elektrischen Stoss ersetzen. In diesem letzten Versuch war die Applicationsstelle des Kochsalz 5 Mm. vom Eintritt des Nerv in den Muskel entfernt; 4 Mm. hinter dem Kochsalz war die Katode um den Reiz dort anzubringen, wo sonst die Durchschneidung stattgefunden hatte.

Liegt die Ursache jener so eigenthümlichen Nachwirkung etwa darin, dass durch Schnitt oder Ammoniak nur eine hinter der mit Kochsalz gereizten Nervenstelle liegende Partie getödtet oder entfernt ist? Tritt der Tetanus sofort mit seiner vollsten

Intensität und mit der Beharrlichkeit der Verkürzung nach dem vorderen Schnitt (D') ein, wenn man vor dem Eintritt der Kochsalzwirkung den Nerv durchschnitten (D) hat, oder wenn man mit anderen Worten die Application des Kochsalzes hart an den frischen Nervenquerschnitt heranrückt? Zu dem Ende wurden die

Versuche XIV u. XV

angestellt. Im ersteren befand sich der Querschnitt hart am Kochsalzwürfel, im zweiten 3 Mm. davon entfernt. Statt dass aber jetzt die Curve rasch und hoch sich erhoben hätte, stieg sie im ersten Versuch im Lauf von 5 Minuten nur 4 Mm. in die Höhe, um dann mit kleinen Oscillationen die mittlere Linie ihrer Gleichgewichtshöhen unter die Abscisse sinken zu lassen. Diese Verlängerung während der Convulsionen hatte in der 8. Minute das Maximum erreicht. Im zweiten Fall waren die Oscillationen grösser, schwankten aber über 2 Mm. unter die Abscisse und hielten sich zuerst abnehmend, dann wieder zunehmend immer innerhalb derselben, wobei die Maximalordinate 5 Mm. überschritt. Als jetzt der Schnitt D hart hinter dem Kochsalzwürfel angelegt wurde, entstand eine mächtige Zuckung von 44 Mm. Ordinate und die tetanische Verkürzung nahm sehr langsam ab, die Ordinate betrug

nach 1 Minute noch 30 Mm.
- 2 - - 29 -
- 3,5 - - 27 -

Als jetzt der vordere Schnitt (D') angelegt wurde, bedurfte es 3 Minuten, bis die Curve auf 15 Mm. Ordinatenhöhe herabsank.

Man sieht also, dass es lediglich auf die Eingriffe ankommt, welche man sich erlaubt, während die vom Kochsalz angeregten Convulsionen in Gang sind. Waltet aber dabei eine besondere Veränderung der molekulären Anordnung, oder kommt es überhaupt nur darauf an, dass, gleichgültig wie, solche Erschütterungen erzeugt werden, welche anhaltende Krämpfe erzeugen? Ich vertauschte zur Lösung dieser Frage den Kochsalztetanus mit dem elektrischen, was die nächste Versuchsreihe veranlasste. Dabei lag das 5 Mm. vom Eintritt des Nerv in den Muskel entfernte Stück auf den Zuleitungsdrähten des Schlittenapparates, welche einander bis auf 0,8 Mm. genähert waren. Der übrige bis zur Wirbelsäule hinauf präparirte Nerv lagerte auf einer Glasplatte. Die Rollendistanz war so klein gewählt, dass die Zuckungen keinesfalls grösser wurden als in den ersten Minuten des gewöhnlichen Kochsalztetanus.

XVI. Versuch.

Nachdem durch das Spiel des Inductionsapparates 14 Zuckungen aufgezeichnet waren, deren Ordinaten zwischen 3 und 9,3 Mm. schwankten, wurde der Schnitt (*D*) geführt, wodurch eine Curve von 17,8 Mm. entstand; sehr rasch aber wurden die einzelnen Zuckungen wieder kleiner, so dass ihre Ordinate nach 12 Stössen des Muskels bereits auf 7 Mm. Höhe gesunken war.

XVII. Versuch.

Es waren 13 Zuckungen von Ordinatenhöhen, welche zwischen 2 u. 13 schwankten, aufgezeichnet, als der Schnitt (*D*) angelegt wurde. Durch den Schnitt entstand eine Zuckung deren Curve 42 Mm. Ordinatenhöhe hatte; unmittelbar darauf erfolgten noch einige stärkere Stösse, dann wurden die Oscillationen kleiner, die Curve eilte aber dabei sehr steil abfallend der Abscisse zu. Bei Berührung des Nerv entstand abermals eine grosse Zuckung von 39 Mm. Ordinatenhöhe; die Curve kehrte aber sehr schnell, jedoch wenig zitternd gegen die Abscisse hin zurück. Jetzt wurden die Rollen ganz über einander geschoben und ein Tetanus erzeugt, bei welchem die Oscillationen der Curve, deren Ordinate zuerst von 36 auf 39 stieg, dann auf 36 wieder fiel, nur sehr schwach waren. Als der Strom plötzlich unterbrochen wurde, schnellte die Curve sofort gegen die Abscisse hin zurück und näherte sich derselben von da ab sehr rasch.

XVIII. Versuch.

Nachdem sich 39 Zuckungen aufgezeichnet hatten, entstand durch den Schnitt *D* eine Zuckung, deren Ordinate 24 Mm. Höhe hatte; die vorausgegangenen hatten zwischen 1 u. 10 geschwankt. Unmittelbar nach dem Schnitt entstanden viel ausgiebigere Contractionen von 15, 19, 21 Mm. Höhe ihrer Ordinaten. Als Ammoniak hinter den Poldrähten aufgetragen wurde, verwandelten sich die Convulsionen bald in Tetanus, dessen Curve schnell eine Ordinate von 37 Mm. Höhe erreichte um von da aus rasch der Abscisse zuzueilen.

Aus diesen und ähnlichen Versuchen geht hervor, dass die elektrische Reizung die durch Kochsalz nur in sehr untergeordneter Weise zu ersetzen vermag, selbst wenn ebenso viele, wohl auch stärkere Zuckungen durch jene vor der Durchschneidung hervorgerufen worden waren, als durch diese. Wenn es also wesentlich Veränderungen in der Mischung des Nerven sind, wodurch jene Beharrungszustände nach mechanischer

Reizung und Durchschneidung zurückbleiben, so sind dieselben vielleicht der Art, dass durch jene Aenderungen allein schon das Phänomen ohne Mithülfe der mechanischen Eingriffe hinter der chemisch alterirten Stelle hervorgerufen werden kann? Diese Frage veranlasste die nächste Versuchsreihe, in welcher man zuerst Convulsionen erregte, und zwar einmal durch Wasserverlust des Nerv in der Luft, das andere Mal durch Reizung einer Nervenstrecke mit Kochsalz, in welcher dann darauf der Nerv unmittelbar an seiner Eintrittsstelle in den Muskel abgeschnitten wurde.

In den Versuchen XX—XXIII, in welchen man bald längere, bald kürzere Perioden von klonischen Zuckungen, auf die eine oder andere Weise erregt, vorübergehen liess, zeigte sich constant, dass die Curve in dem Augenblick, in welchem man den Nerv an seinem Eintritt in den Muskel durchschnitt, ohne alle Zögerung zur Abscisse zurückkehrte, und dieselbe entweder sogleich erreichte oder kurze Zeit nachher. Es war also klar geworden, dass nicht die locale Entmischung des Nerv an sich jene Nachwirkung hat. Ein unmittelbar darauf angestellter Controlversuch, zu welchem das zweite Präparat desselben Thieres diente, mit welchem der XXIII. Versuch angestellt worden war, lehrte, dass wie schon früher gefunden worden, die Combination von chemischer Reizung und Durchschneidung hinter der gereizten Stelle, auch nach der Nervendurchschneidung vorne den anhaltenden Verkürzungszustand des Muskels herbeizuführen vermag. Bei dem

XXIV. Versuch

war nämlich eine grössere Reihe von Convulsionen, durch Kochsalz erregt, abgewartet worden. Die Excursionen betrugen am Ende dieser Periode noch 8 bis 10 Mm. Ordinatenhöhe, als der Schnitt D angelegt wurde. Sofort entstand eine Zuckung von 41 Mm. Ordinate, und der Tetanus war vollkommen entwickelt. Seine Curve senkte sich in 0,5 Minuten erst bis zu 30,5 Mm. Ordinate. Jetzt wurde der Nerv an seinem Eintritt in den Muskel durchschnitten (D'). Darauf senkte sich die Curve langsam und zwar in folgender Weise:

Zeit	Ordinate
0 — 1	30,5 — 20
1 — 2	20 — 16
2 — 3,5	16 — 13
3,5 — 5	13 — 11
5 — 7	11 — 9,5

Zu der Nachwirkung, welche in diesem wie in den früheren unter gleichen Bedingungen angestellten Versuchen auftritt, gehört also nothwendig die Combination von chemischer Reizung und Durchschneidung (D); jene allein thut es nie. Es fragte sich weiter: was geschieht, wenn man das Ammoniak vorher auf die centrale Stelle aufträgt, ehe man eine mehr peripherische mit Kochsalz reizt und was erfolgt, wenn man nach Berührung des Nerv mit Kochsalz und dann mit Ammoniak schliesslich den Schnitt D' angelegt, ohne den Schnitt D vorausgehen zu lassen. Nachstehende Versuche entschieden hierüber.

XXV. Versuch.

Ehe der Nerv auf die Kochsalzlösung gelegt und mit dem Würfel bedeckt wurde, war die Strecke dahinter mit Ammoniak getödtet worden. Die Convulsionen verwandelten sich nach 0,5 Minuten in Tetanus, dessen Curve nach 1 Minute eine Ordinate von 19 Mm. Höhe zeigte; nach 1,5 Minuten mass derselbe 12,8. Schliesslich wurde der Nerv an seinem Eintritt in den Muskel abgeschnitten: sofort kehrte die Curve plötzlich in die Abscisse zurück.

Dieselben Resultate boten der XXVI. und XXVII. Versuch, obwohl die Zuckungen im letzten Fall 17 und mehr Mm. Höhe der Ordinaten zeigten. Als im XXVIII. Versuch die Kochsalzkrämpfe schon 2 Minuten gedauert hatten, ehe das Ammoniak aufgetragen wurde und als der vollkommene Tetanus, welcher der vom Ammoniak hervorgerufenen Pause folgte, eine Ordinatenhöhe von 16 Mm. zeigte, und eine volle Minute gedauert hatte und endlich der Schnitt D' angelegt wurde, schnellte dennoch die Curve sofort in die Abscissenaxe zurück.

Das Ammoniak kann somit, soferne es tödtet, nie die Wirkung des Schnittes D ersetzen.

Ist es also vielleicht gar nicht die Durchschneidung als solche mit ihren unmittelbaren Folgen, nämlich der Entfernung oder Tödtung eines gewissen Nervenstückes, sondern ist es nur die mechanische Reizung, wovon im Verein mit der chemischen an einer tiefer liegenden Stelle der Erfolg von D' abhängt?

Zu dem Ende wurde hinter dem Kochsalz nur ein geringer Druck mit einer feinen Pincette auf den Nerv ausgeübt und es zeigte sich in der That, dass diese Manipulation ausreichte den Muskel in jenen Beharrungszustand überzuführen, wie die jetzt mitzutheilenden Versuche deutlich beweisen.

XXIX. Versuch.

Nachdem etwa 18 heftige Zuckungen (10—13 Mm. Ordinatenhöhe ihrer Curven) in Folge der Kochsalzreizung aufgetreten waren, wurde hinter der dadurch gereizten Stelle ein momentaner schwacher Druck auf den Nerv ausgeübt. Sofort entstand eine Zuckungscurve von 30 Mm. Ordinate, welcher ein Tetanus folgte, dessen Curve erst nach 0,5 Minute bis auf 24 Mm. sank. Nach 2 Minuten war die Ordinate noch 3 Mm. hoch. Als jetzt wieder Druck angewendet wurde, entstand eine Zuckung, deren Curve 33 Mm. Ordinatenhöhe hatte und aufs Neue Tetanus, dessen Curve in einer Minute erst bis 16 Mm. Ordinate, nach 2 Minuten bis 9 Mm. gesunken war. Als nur nach wiederholtem Druck die Curve sich wieder bis 24 Mm. gehoben hatte, dann im Lauf einer Minute bis 13 gesunken war, wurde der Schnitt D' angelegt, worauf sich die Curve der Abscisse langsam in folgender Weise näherte:

Zeit in Minuten	Ordinate
0—1	13 —8,4
1—2	8,4—6,5
2—3	6,5—6
3—4	6 —5,5

XXX. Versuch.

Ich liess die vom Kochsalz angeregten Convulsionen 6 Minuten andauern. Die einzelnen Zuckungen hatten Curven von nur 6 Mm. Ordinatenhöhe geschrieben; durch den ersten Druck entstand eine Zuckung von 20 Mm. Ordinate ihrer Curve; der Tetanus war vollkommen, und ganz langsam näherte sich dessen Curve der Abscisse wieder. Nach einem neuen Druck enstand wieder eine Zuckungslinie von 30 Mm. Höhe und die Tetanuscurve blieb eine Minute fast ganz horizontal. Als jetzt der Schnitt D' geführt wurde, kehrte die Curve sehr langsam zur Abscisse zurück.

Es ist somit zur Gewissheit erhoben, dass das Phänomen der Nachwirkung, welches wir hier studiren, schon durch die Combination einer leichten mechanischen und einer chemischen Reizung zu Wege gebracht werden kann, und dass es nicht nothwendig des Anlegens eines Querschnittes und seiner complicirten Folgen bedarf. Wenn wir aber, wie im nächsten Versuch gezeigt werden soll, allerdings durch den Schnitt (D) eine viel grössere Wirkung erzielen als durch den Druck, so dürfte sich dies daraus erklären, dass im ersteren Fall der mechanische Eingriff nur stärker als im letzteren ist, dort

aber nicht noch eine besondere Nebenwirkung hinzukommt, welche hier fehlt.

XXXI. Versuch.

Nachdem die vom Kochsalz angeregten Convulsionen 5 Minuten gedauert hatten, und zuletzt nur kleine Oscillationen um die Abscisse herum machten, wurde durch Druck auf den Nerv eine Zuckungslinie von 25 Mm. und Tetanus hervorgerufen, dessen Curve langsam der Abscisse zulenkte; als sie noch 6 Mm. davon entfernt war, erzeugte der Schnitt *D* eine Zuckungslinie von 41 Mm. Ordinate und als darauf der Nerv an seinem Eintritt in den Muskel durchschnitten wurde (*D'*), lenkte die Curve in nachstehender Weise der Abscisse zu:

Zeit in Minuten	Ordinate
0 —1,5	27 —21
1,5—2	21 —20,5
2 —3,5	20,5—18,5
3,5—4,5	18,5—17
4,5—5,5	17 —16
5,5—7,5	16 —14

Einige heftige Inductionsschläge, welche man dazwischen durch Nerv und Muskel schickte, störten den Verlauf der Curve in ihrem regelmässigen Gang nur momentan.

Fassen wir jetzt die Resultate dieser III. Abtheilung zunächst so weit zusammen, als sie die zuerst aufgeworfene Frage erledigen, nämlich die Frage, ob von der Stelle aus, an welcher das Ammoniak applicirt wird und tödtend wirkt, auf grössere Strecken eine Fernwirkung ausgeht, welcher wir den Namen höherer Erregbarkeit beilegen dürfen, so muss nach Allem diese Frage bejaht werden. Denn wir sehen, dass in kürzester Frist nach der Berührung der mehr centralen Stelle des Nerv mit Ammoniak die Effecte gesteigert werden, welche von einer dem Muskel näheren Strecke aus durch die Kochsalzreizung hervorgerufen wurden. Die klonische Form der Krämpfe geht in die tonische über, die mittlere Curve der Gleichgewichtshöhen erhebt sich ausnahmslos plötzlich weiter über die Abscisse. Dieser Steigerung geht aber eine temporäre Verminderung, ja oft eine vollkommene Sistirung der Krämpfe voraus, welche möglicher Weise von zwei Umständen abhängen kann. Entweder die Spur von Ammoniakdampf, welche sich von dem Miniaturpinsel aus verbreitet, und in höchst verdünnter Form zu der mit Kochsalz berührten Stelle gelangt, lähmt den Nerv, und erst im Verlauf der Zeit löst sich die Lähmung, oder die

an der Berührungsstelle hervorgerufene Aenderung in der molekulären Anordnung durchläuft zwei Phasen von entgegengesetzten Zeichen, was an sich nichts Unwahrscheinliches hat. Wir prüfen beide Annahmen. Die erste setzt das an sich Unwahrscheinliche voraus, dass der Nerv dem sehr verdünnten Dampf früher erliege als der concentrirten Flüssigkeit. Denn es lässt sich experimentell zeigen, dass der Nerv an der berührten Stelle in der Zeit noch reizbar ist, wenn die Kochsalzkrämpfe schon sistirt sind. Zweitens verlangte diese Annahme die Voraussetzung, dass die vom Ammoniak hervorgerufene Abnahme der Erregbarkeit von selbst wieder weichen könne, während mich alle Experimente bisher gelehrt haben, dass dies nie der Fall, ja dass man mit keinem sauren Dampf, in irgend welcher Concentration angewendet, den vom Ammoniak hervorgerufenen Zustand der Reizverminderung oder Lähmung wieder heben könne. Man kann seine Wirkung nur etwas verlangsamen, wenn man dem Nerv vorher Gelegenheit gegeben hat sich mit sauren Dämpfen etwas zu imprägniren. Es bleibt also nur die zweite Annahme übrig; die Dauer der Pause entspricht auch der Zeit, welche verstreicht, bis die Stelle, welche vom Ammoniak berührt wurde, reizlos geworden ist. Wir würden also die nächstfolgende Erhöhung der Erregbarkeit längs einer entfernteren Nervenstrecke als Folge des Todes und zwar des schnellen Todes jener anderen Strecke ansehen dürfen, und werden darin unterstützt, dass die Durchschneidung oder mechanische Destruction einen ähnlichen Erfolg hat, und dass, wie in solchen Fällen und wie anderwärts schon erkannt wurde, so auch hierbei die Erhöhung der Erregbarkeit einen zuerst sehr rasch wachsenden und dann wieder abnehmenden Werth zeigt. Zugleich würde es erklärlich, warum diese Agentien nicht in gleicher Weise durch den Reiz einzelner elektrischer Stösse ersetzt werden können, bei welchen meist mit grosser Elasticität die molekuläre Anordnung der Nerven nahe zu ihrer ersten Form wieder sofort zurückzukehren im Stande ist.

Eine andere Erscheinung am Muskel, welche wir im Verlauf dieser Untersuchung kennen gelernt haben, welche freilich nicht specifisch der Ammoniakwirkung zugehört, dürfte unsere Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen, wenn es uns auch bisher noch nicht gelungen ist, sie zu erklären. Ich meine jene eigenthümliche nicht tetanische Verkürzung, welche Muskeln zeigen, nachdem ihr Nerv chemischer und mechanischer Reizung zugleich ausgesetzt worden war. Ich kann mich nicht entsinnen, dass man dieser so ganz allmälig sich wieder lösenden Form-

änderung diejenige Beachtung zugewendet hat, welche sie mir zu verdienen scheint. Auch ich kann ihrer hier nur im Vorübergehen erwähnen und muss es dem Gang meiner ferneren Untersuchungen überlassen, ob mir eine Lösung dieses Problems gelingt, welche vorläufig, als ausser dem Bereich der gegenwärtigen Fragen nach der Ammoniakwirkung liegend, noch nicht von mir in Angriff genommen wurde.

Ich weiss zwar, dass man nach elektrischem Tetanus, bei sehr geringer Belastung der Muskeln hier und da auch nach einem einzigen Inductionsstoss beobachten kann, wie der Muskel nicht sofort seine alte Länge annimmt. Man findet ihn nachher manchmal kürzer, manchmal auch länger als vorher. Verkürzt besonders nach heftigem Tetanus, so zwar, dass man zu der anfänglichen Belastung mit 10 Grm. oft 15 und 20 Grm. hinzufügen muss um ihm die Länge wieder zu geben, welche er vor dem Tetanus hatte. Mechanische und chemische Verhältnisse finden sich genug im Gefolge und während der Dauer der Zuckungen, welche der Erklärung des Phänomens Handhaben bieten könnten. Die in obigen Versuchen angestellten Gegenproben und Controlen lehrten aber aufs Deutlichste, dass die langsam zurückgehenden Verkürzungen nicht Folgen der stationär gewordenen Veränderungen in der Muskelsubstanz, so weit sie durch die Verkürzung selbst zu Stande gebracht worden, sein können, sondern dass sie irgend wie von dem gereizten und zwar in der ganz bestimmten Form gereizten Nerv ausgehen. Ob und wie sich ein solcher Zustand in den feineren und feinsten Nervenverzweigungen, oder von dort aus in der Muskelsubstanz auf längere Zeit hinaus festsetzen kann, ist eine Frage, die ich deswegen nicht zu entscheiden voraussehe, weil ich noch nicht einmal Mittel gefunden habe momentan und sofort jenen Zustand wieder zu lösen. (Constante Ströme blieben vorläufig noch ausser Anwendung.) Meine Vermuthung geht dahin, dass wir es dabei nicht mit einer Formänderung zu thun haben, welche sich wie die tetanische aus raschen Folgen discontinuirlicher Schwankungen zusammensetzt, sondern aus mehr dauernden Gleichsgewichtslagen der verkürzenden und verlängernden Kräfte im Muskel, oder mit secundären Zuständen gewisser Gewebtheile, welche auf längere Zeit hinaus verhindern, dass der Muskel seine ursprüngliche Länge wieder annimmt. Wie wichtig für die Physiologie der Mukeln der Entscheid dieser Fragen ist, bedarf keiner Betonung; ich muss mich begnügen sie hier Orts von den Beobachtungen gedrängt nur vorläufig berührt zu haben. Ich kehre zu dem Thema der gegenwärtigen Untersuchung zurück, und komme zur

IV. Abtheilung.

Es sollen nämlich schliesslich die Folgen geprüft werden, welche die Application des Ammoniak auf die intrapolare Nervenstrecke begleiten. Auch diese Abtheilung zerfällt in mehrere Reihen, je nachdem wir mit dem absteigenden und aufsteigenden Kettenstrom, oder mit Inductionsstössen in beiderlei Richtung die Prüfung vornehmen.

Die nicht polarisirbaren Elektroden waren dabei 26—27 Mm. von einander entfernt; alle sonstigen Vorrichtungen waren bei den Kettenströmen die gleichen, wie in den übrigen Versuchen, und das Uhrwerk blieb entweder während der ganzen Versuchsdauer in Gang, oder je immer so lange, bis sie bei der einen oder anderen Stromrichtung 15—20 oder mehr Zuckungen verzeichnet hatten. Die Anzahl derselben richtete sich nach der grösseren oder geringeren Gleich- und Gesetzmässigkeit, welche sich in einer solchen Gruppe von Curven kund gab. In die Nebenschliessung der Kette, in deren Hauptkreis sich der feuchte Rheostat mit der verdünnten Kupferlösung (1 auf 500 Wasser) befand, war Boussole und Rheochord eingeschaltet um theils die Ströme zu reguliren, theils jeden Augenblick in den Pausen der Versuche die Constanz der Kette oder Batterie der Grove'schen Becher zu prüfen, welche in Anwendung kamen.

Um jeden Augenblick sicher die Natur der Zuckung zu erkennen, war das Uhrwerk für sich noch mit einem kleinen elektromagnetischen Apparat in Verbindung gesetzt, durch welchen bei jeder Oeffnung des Kreises ein Glockenschlag hörbar wurde, und es somit unnöthig machte Zuckung und Pendelschwingung gleichzeitig mit dem Auge zu verfolgen, was bei der ziemlichen Entfernung des Metronoms von dem Zeichenhebel und bei der Schnelligkeit der Reihenfolge, in welcher die Zuckungen auftraten, um so erwünschter war, als zugleich die Glastafel mit der Hand gleichmässig fortbewegt werden musste. Zum Verständniss der nächstfolgenden Tabelle wird nichts nöthig sein beizufügen, als dass unter „Grösse der Zuckung" in Millimetern die direkten Ausmessungen der Linien wie bisher gemeint sind, welche die wirklichen Zuckungsgrössen 4,23 Mal vergrössert darstellen. Ich gebe sofort also ohne alle Auswahl die ganze Reihe von Versuchen, und bemerke nur, dass unter Ablenkung der Boussole der Werth der Ablenkung für die betreffenden Zuckungsgruppen gemeint ist, wie bei dem Rheostaten, an dessen Nullpunkt noch immer, wie anderwärts gezeigt worden, noch beträchtliche Widerstände vorhanden sind.

Erste Versuchsreihe mit Kettenströmen.
Nr. I. (Vorversuch.)

Zeit	Grösse der Zuckung	Natur der Zuckung	Richtung des Stromes	Rheostat	Ablenkungswinkel an der Boussole
2h 50′	23,5—24	Schliess.	absteigend	0	40°
2h 52′	22	Schliess.	aufsteigend	0	40°
	Ammoniak nahe der centripolaren Strecke aufgetragen				
2h 53′	20,5	Schliess.	aufsteigend	0	40°
2h 53,5′	23,8—23,5	Schliess. Oeffnungs.	absteigend	0	40°
2h 55′	23,5—22,5	Schliess.	absteigend	0	40°
	Ammoniak in einer Ausdehnung von 9 Mm. auf die Mitte der intrapolaren Strecke aufgetragen				
2h 56′	weder Schliess.	noch Oeffn.	aufsteigend	0	0
2h 57′	22,2	Schliess.	absteigend	0	0
2h 58′	19,5—21,5	Schliess.	absteigend	0	40°
3h 18′	18—21	Schliess.	absteigend	0	40°
3h 18,5′	0	0	aufsteigend	0	0
	Ammoniak 6,5 Mm. hinter dem Muskelpol aufgetragen				
3h 19′	15,3—16	Schliess.	absteigend	0	40°
3h 20′	0	0	aufsteigend	0	0
3h 40′	15—15,5	Schliess.	absteigend	0	40°
4h 0′	13,2—17,9 3	Schliess. Oeffnungs.	absteigend	0	39°
4h 2′	9—11	Oeffnungs.	aufsteigend	0	0
4h 30′	1,7—3 10,5	Oeffnungs. Schliess.	aufsteigend	0	0°
4h 31′	10—18 3—5	Schliess. Oeffnungs.	absteigend	0	38°
4h 50′	3 1	Oeffnungs. Schliess.	aufsteigend	0	0°
5h	17,7 3—4,5	Schliess. Oeffnungs.	absteigend	0	0°

Die Länge der centripolaren Strecke war 11,5, der myopolaren 8,5, der intrapolaren 26 Mm.

II. Versuch.

11h 10′	20—29	Schliess.	aufsteigend	40 Cent.	0
11h 12′	31—29	Schliess.	absteigend	35	0
11h 15′	zwischen 4 und 18 schwankend	Schliess.	absteigend	10	58°
11h 18′	9—4,5	Schliess.	aufsteigend	7,5	59°
11h 21′	31,5	Schliess.	aufsteigend	59	0°
11h 23′	33—32,5	Schliess.	absteigend	66,5	0°

11h 23,5′ Ammoniak auf die Mitte der intrapolaren Strecke in einer Ausdehnung von 10 Mm. aufgetragen

Zeit	Grösse der Zuckung	Natur	Richtung des Stromes	Rheostat	Ablenkungswinkel an der Boussole
11h 24′	27,6	Schliess.	absteigend	66,5	0°
25′	6,2—4,8	Schliess.	aufsteigend	0	0°
29′	27,5—26,5 4 — 2,5	Schliess. Oeffnungs.	absteigend	7	0
30,5′	9,9—4	Oeffnungs.	aufsteigend	0	0° (2 Elem.)
31′	2,2	Oeffnungs.	aufsteigend	0	0° (3 Elem.)
11h 45′	25,9	Schliess.	absteigend	19	0 (1 Elem.)
12h 45′	14,9—11,8 1,2	Schliess. Oeffnungs.	absteigend	40	0 (1 Elem.)
50′	3,5— 2,3	Schliess.	aufsteigend	16	0° (1 Elem.)
51,5′	18—20	Oeffnungs.	aufsteigend	0	0° (3 Elem.)

III. Versuch.

19′	36,5	Schliess.	aufsteigend	0	40°
19,5′	36	Schliess.	absteigend	0	40°

Ammoniak in der Mitte der intrapolaren Strecke in einer Ausdehnung von 10 Mm. aufgetragen

20′	32	Schliess.	absteigend	0	40°
22′	9—16	Oeffnungs.	aufsteigend	0	40°
25′	10—7,5—10,6	Oeffnungs.	aufsteigend	0	0°
26′	32,5—31,5	Schliess.	absteigend	0	0°
35′	31—28	Schliess.	absteigend	0	0°
37′	2	Oeffnungs.	aufsteigend	0	0°
55′	2—9,5	Schliess. u. Oeffnungs.	aufsteigend	0	0°
56′	28—23 6	Schliess. Oeffnungs.	absteigend	0	0°

IV. Versuch.

29′	16	Schliess.	aufsteigend	90	0
30′	16—14	Schliess.	aufsteigend	90,5	0
30,5′	16,1	Schliess.	absteigend	44	0
31′	16	Schliess.	aufsteigend	90	0

31,5 Ammoniak auf die Mitte der intrapol. Strecke in einer Ausdehnung von 14 Mm. aufgetragen

32′	0	0	aufsteigend	0	0
34′	14,5	Schliess.	absteigrnd	53	0
35′	0	0	aufsteigend	0	0
37′	13	Schliess.	absteigend	44	0

Die Länge der myopolaren Strecke war 11, die der centripolaren 17, die der intrapolaren 27 Mm.

V. Versuch.

4′	3,5—6	Schliess.	absteigend	80

Einwirkung des Ammoniak, wie im vorigen Versuch aufgetragen.

5′	21—18,5	Schliess.	absteigend	40
8′	17,5—16	Schliess.	absteigend	98

Die übrigen Specialbedingungen wie im vorigen Versuch.

Bei den nächstfolgenden Versuchen blieb das Uhrwerk während des Auftragens des Ammoniak unausgesetzt im Gang.

VI. Versuch.

Zeit	Grösse der Zuckung	Natur	Richtung des Stromes	Rheostat
41—43′	4	Oeffnungs.	absteigend	70
43′ Ammoniak in der Mitte der intrapolaren Strecke in einer Ausdehnung von 16 Mm. aufgetragen.				
44′	4	Schliess.	absteigend	70
45′	8	Schliess.	absteigend	70
45,5′	15	Schliess.	absteigend	70
46′	17	Schliess.	absteigend	70
47′	0	0	aufsteigend	0

Die Länge der myopolaren Strecke war 10, die der centripolaren 22, die der intrapolaren Strecke 27 Mm.

VII. Versuch.

3,5′	2—4 11	Schliess. Oeffnungs.	absteigend	63,5
4′	2—4,5 9,5	Schliess. Oeffnungs.	absteigend	63,5
4′ 2″ Ammoniak in einer Ausdehnung von 13,5 Mm. auf die Mitte der intrapolaren Strecke aufgetragen				
4′ 20″	10—11	Schliess.	absteigend	63,5
4′ 30″	11—10	Schliess.	absteigend	63,5
5′—6′	10— 9	Schliess.	absteigend	63,5
6′—7′	9	Schliess.	absteigend	63,5
7,5′	0	0	aufsteigend	63,5

Die Länge der myopolaren Strecke war 8, die der centripolaren 14,5 Mm.

VIII. Versuch.

21—22′	5—10	Schliess.	absteigend	75
Ammoniak auf die Mitte der intrapol. Strecke in einer Ausdehnung von 17 Mm. aufgetragen.				
22,1′	0,7	Schliess.	absteigend	75
22,5′	6,9	Schliess.	absteigend	75
23′	12	Schliess.	absteigend	75
24′	15	Schliess.	absteigend	75
26′	16	Schliess.	absteigend	75
26,5′	0	0	aufsteigend	0
28′	16,5—17	Schliess.	absteigend	75

Die Länge der myopolaren Strecke betrug 11,8, der centripolaren 16, der intrapolaren 27 Mm.

Da die wesentlichen und wichtigsten Resultate dieser Versuchsreihe denen genau entsprechen, welche wir mit Hülfe der Induktionsstösse gewonnen haben, so will ich dieselben hier vor der Hand nur kurz formuliren, und die sich daran anschliessenden Betrachtungen am Schlusse dieser IV. Abtheilung zur Sprache bringen.

1) Für den absteigenden Kettenstrom gilt:

War anfänglich blos Schliessungszuckung oder auch Schliessungs- und Oeffnungs-Zuckung vorhanden, so bleiben nach der Einwirkung des Ammoniak nur noch die Schliessungszuckungen, wenn die anfänglichen Stromstärken unverändert erhalten werden; wird der Gang des Uhrwerkes, während man das Ammoniak aufträgt, nicht unterbrochen, so nimmt die Zuckungsgrösse, wenn sie im ersten Moment etwas abgenommen hat, zum Mindesten bis gegen das Ende der dritten Minute wieder zu, um von da ab dann kleiner zu werden.

2) Für den aufsteigenden Kettenstrom gilt:

Constant ist, dass wenn anfänglich Schliessungszuckung allein, oder Schliessungs- und Oeffnungs-Zuckung vorhanden war, bei gleichbleibender geringer Stromstärke die Schliessungszuckung sehr rasch nach der Ammoniakeinwirkung verschwindet. Bei Verstärkung des anfänglichen Stromes ist dann noch die Oeffnungszuckung vorhanden, nimmt aber rasch ab.

Mit dem verstärkten Strom, welcher anfänglich blos Oeffnungszuckungen oder Schliessungs- und Oeffnungszuckungen noch hervorgerufen, lässt sich sehr bald gar keine Wirkung mehr erzielen. Mit der Zeit kehren sehr langsam die Oeffnungszuckungen zuerst und dann wieder die Schliessungszuckungen, wenn auch sehr geschwächt, zurück.

Allgemein also zeigt sich durch Application von Ammoniak auf die intrapolare Nervenstrecke zeitweise die Wirkung des absteigenden Stromes erhöht, die des aufsteigenden vermindert.

Ich gehe jetzt zu der Prüfung mit den Induktionsstössen über. Die Vorrichtung, deren ich mich bediente, war der Du Bois'sche Schlitten ohne Eisenkern. Sie war mit einer Skala versehen um die Rollendistanz ablesen zu lassen, wobei der Nullpunkt derjenigen Stellung entsprach, in welcher beide Rollen ganz übereinander geschoben waren. Die Drahtanordnung war folgende: von der Kette durch einen Gyrotrop zu dem Draht, welcher den kleinen Elektromagnet umkreist, der den Anker der Feder anzieht, und dann in die primäre Spirale übergeht; von dieser aus setzte sich unter Vermittlung der oberen Klemmschraube, welche dazu dient, den Extrastrom aus der Spirale abzuleiten, der Draht fort in den Gyrotrop und zurück zur Kette. Von der secundären Spirale aus gingen die Drähte zu den nicht polarisirbaren Elektroden. Ueber die

Stromrichtung bei der einen oder anderen Stellung des Gyrotrop habe ich mich auf empirischem Weg einfach dadurch überzeugt, dass ich von der secundären Spirale aus Drähte zu einem sehr weit davon entfernten empfindlichen Galvanometer schickte und die Richtung, in welcher beim Schliessen und Oeffnen der Kette die Nadel schwankte, mit der verglich, in welcher dasselbe geschah, wenn der Galvanometerdraht von einem einfachen Kettenstrom in bekannter Richtung durchflossen wurde. Willkürlich gewählte Merkzeichen an Gyrotrop und Klemmen der Vorrichtung schützten ein- für allemal vor jeder Verwechselung der jeweiligen Stromrichtung. Dass alle Geräthschaften lege artis isolirt waren, die Drähte durch die Luft führten etc. versteht sich von selbst.

I. Versuch.

Zeit	Zuckungsgrösse	Natur des Ind. Schlages	Richtung des Stromes	Rollendistanz in Centim.
10h 59′	5	Oeffnungs.	absteigend	15,8
11h 0′	3—4	Oeffnungs.	aufsteigend	14,6
11h 2′	7,5	Oeffnungs.	absteigend	15,8
3′	4	Oeffnungs.	aufsteigend	14,6
3,5′	8—7,5	Oeffnungs.	absteigend	15,8
3,6′ Ammoniak zwischen den Polen in einer Ausdehnung von 17 Mm. aufgetragen				
5′	4—5,6	Oeffnungs.	absteigend	15,8
7′	2	Schliess.	absteigend	12,8
8,5′	8—7,2	Oeffnungs.	absteigend	15,8
9,5′	7—6	Schliess.	absteigend	12,8
11,5′	8,1	Oeffnungs.	absteigend	15,8
12,5′	6,6	Schliess.	absteigend	12,5
16′	7,9	Oeffnungs.	absteigend	15,8
17′	7,2—6	Schliess.	absteigend	12,5
18′	4—3,5	Oeffnungs. / Schliess.	aufsteigend / absteigend	8,1
19′	2,5	Oeffnungs.	absteigend	15,8
11h 20′	2	Schliess. / Oeffnungs.	aufsteigend / absteigend	5,8

Die Länge der myopolaren Strecke war 12 Mm., die der centripolaren 13, die der intrapolaren 26.

II. Versuch.

11h 38′	6—7,5	Oeffnungs.	absteigend	16
39′	5—7,4	Oeffnungs.	aufsteigend	14,6
40′	11,5—13	Oeffnungs.	absteigend	16
41′	11—11,8	Oeffnungs.	aufsteigend	14,6
42′	14	Oeffnungs.	absteigend	16
42,5′ Ammoniak zwischen den Polen in einer Ausdehnung von 14,7 Mm. aufgetragen				

Zeit	Zuckungsgrösse	Natur des Ind. Schlages	Richtung des Stromes	Rollendistanz in Centim.
11h 43′	12,5	Oeffnungs.	absteigend	16
44′	2,5—6	Schliess.	absteigend	15,4
45′	13,5	Oeffnungs.	absteigend	16
48′	3—5—6	Schliess.	absteigend	15,7
49′	13,8	Oeffnungs.	absteigend	16
50′	2,6—3,5	Schliess.	absteigend	13,8

Die Länge der myopolaren Strecke 12 Mm., der centripolaren 15 der intrapolaren 26 Mm.

III. Versuch.

2h 58′	6,1—8	Oeffnungs.	absteigend	16,8
59′	8—9	Oeffnungs.	aufsteigend	16,7
3h 0′	14	Oeffnungs.	absteigend	16,8
1′	5—7,8	Oeffnungs.	absteigend	17,4
3′	8,5—9	Oeffnungs.	aufsteigend	16,7
4′	8—9	Oeffnungs.	absteigend	17,4
4,5′ Ammoniak zwischen den Polen in einer Ausdehnung von 15 Mm. aufgetragen				
5′	2—6, 8—6,5	Oeffnungs.	absteigend	17,4
7′	9,5-11,6,7-9	Schliess.	absteigend	15,4
8,5′	13,9—14,9	Oeffnungs.	absteigend	17,4
10′	4,9-7-6,5-0,5	Schliess.	absteigend	13,6
11,5′	14—15—14	Oeffnungs.	absteigend	17,4
15′	10—0,5	Schliess.	absteigend	13,5

Länge der myopolaren Strecke 13 Mm., der centripolaren 13, der intrapolaren 26 Mm.

IV. Versuch.

3h 30′	7,9—13	Oeffnungs.	absteigend	16,4
32′	5,5-10,5-7,5	Oeffnungs.	aufsteigend	14,7
34′	17,5	Oeffnungs.	absteigend	16,4
34,5′	12—8—14	Oeffnungs.	absteigend	16,9
36′	9,8-7-8,5-8	Oeffnungs.	aufsteigend	14,7
37′	14,5—17	Oeffnungs.	absteigend	14,7 (Von jetzt an blieb das Uhrwerk in Gang.)
39′	7,5	Oeffnungs.	absteigend	17,1
40′	9,9—8,5	Oeffnungs.	absteigend	16,5
40,1′ Ammoniak zwischen den Polen in einer Ausdehnung v. 14,6 Mm. aufgetragen				
	7,4	Oeffnungs.	absteigend	16,5
	10	Oeffnungs.	absteigend	16,5
	11	Oeffnungs.	absteigend	16,5
41—42′	14,8	Oeffnungs.	absteigend	16,5
42,5′	7,2-8,5-5,5	Schliess.	absteigend	13,4
43,5′	16,5	Oeffnungs.	absteigend	16,5
45′	9-1-9-3-8,4	Schliess.	absteigend	13,4
46,5	8—4	Oeffnungs.	aufsteigend	8,8
	14,5—13,5	Schliess.	absteigend	

Länge der myopolaren Strecke 11, der centripolaren 14, der intrapolaren 26 Mm.

V. Versuch.

Zeit	Zuckungsgrösse	Natur des Ind. Schlages	Richtung des Stromes	Rollendistanz in Centim.
9′	16	Oeffnungs.	absteigend	13,4
10′	7—6,5	Oeffnungs.	aufsteigend	13,4
11′	16	Oeffnungs.	absteigend	13,4
12,5′	2—5—0,5	Oeffnungs.	aufsteigend	13,4
13,4′	15,9	Oeffnungs.	absteigend	13,4
14′ Ammoniak zwischen den Polen in einer Ausdehnung von 9,5 Mm. aufgetragen				
14,5′	13,8	Oeffnungs.	absteigend	13,4
16′	0,5—1	Oeffnungs.	aufsteigend	11
	14—13	Schliess.	absteigend	
18′	13—10,9	Oeffnungs.	absteigend	13,4
19′	11,5—8	Schliess.	absteigend	11
21′	8,5—9	Schliess.	absteigend	8,9
	8,5—9	Oeffnungs.	aufsteigend	
22′	10—9—7,8	Schliess.	absteigend	0
	10,9—7,9	Oeffnungs.	aufsteigend	
23′	9—7,5	Oeffnungs.	absteigend	0
	11,2—7,5	Schliess.	aufsteigend	
25′	5—5,8	Oeffnungs.	absteigend	13,4
27,5′	6,2—8	Oeffnungs.	absteigend	11
31,5′	5—4—3	Oeffnungs.	aufsteigend	9,5
32,5′	1—3	Oeffnungs.	absteigend	9,5

Länge der myopolaren Strecke 15, der centripolaren 13, der intrapolaren 26 Mm.

VI. Versuch.

10h 57′	3,5—6	Oeffnungs.	absteigend	15
59′	1,2—2	Oeffnungs.	aufsteigend	14,1
11h 1′	21	Schliess.	absteigend	0
		Oeffnungs.	aufsteigend	
3′	21—20,1	Schliess.	aufsteigend	0
		Oeffnungs.	absteigend	
5,5′	4—9—7,4	Oeffnungs.	absteigend	4,4
6′ Ammoniak zwischen den Polen in einer Ausdehnung von 16 Mm. aufgetragen				
7′	1—7	Oeffnungs.	aufsteigend	4,4
9′	17	Oeffnungs.	absteigend	
9,5′	8	Schliess.	absteigend	4,4
	16,5	Oeffnungs.	aufsteigend	
11′	4	Schliess.	aufsteigend	4,4
	18,2	Oeffnungs.	absteigend	
12,5′	3,5—8,5	Oeffnungs.	absteigend	8,7
14′	9,8—8	Oeffnungs.	aufsteigend	7,7
	1—2	Schliess.	absteigend	

Länge der myopolaren Strecke 11, der centripolaren 18, der intrapolaren = 26 Mm.

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe lassen sich in wenig Worten folgenderweise zusammenfassen:

1) Constant wird beobachtet, dass selbst der an sich wirksamere Oeffnungsschlag nach der Ammoniakeinwirkung erfolglos wird, wenn er den Nerv mit der früheren Stärke in aufsteigender Richtung trifft. Geschieht dies in absteigender Richtung, so verkleinert sich nur bis zu $1^1/_2$ Minute hin der Effekt; dann wird er aber wieder grösser und wächst über das Mass, welches er vor der Ammoniakwirkung gehabt hatte.

2) Der bei gegebener Rollendistanz anfänglich wirkungslose Schliessungsschlag wird für die absteigende Stromrichtung nachher entweder gleich wirksam, oder bei nur unbedeutend grösserer Nähe der Rollen.

In Uebereinstimmung mit allen übrigen bisher gewonnenen Erfahrungen wird also auch hierdurch, wie durch die Versuche mit den einfachen Kettenströmen bewiesen, dass in Folge der Ammoniakwirkung der Effekt des absteigenden Stromes grösser, des aufsteigenden kleiner, selbst Null wird.

Bei den mehr allgemeinen Betrachtungen, welche wir über die Resultate dieser IV. Abtheilung unserer Untersuchungen jetzt anzustellen haben, dürfen wir nicht ausser Acht lassen, dass bei der Berührung eines Stückes der intrapolaren Nervenstrecke mit Ammoniak derselbe Ablauf innerer Vorgänge stattfinden müsse, wie bei Berührung einer Nervenpartie diesseits oder jenseits der intrapolaren Strecke. Wir können die letztere in drei Abschnitte in Gedanken zerlegen. Der eine a stösst an die obere Elektrode, der zweite b wird mit Ammoniak berührt, der dritte c stösst an die untere Elektrode. An der Stelle b wird sehr schnell die Lähmung, der Tod eintreten, welchen die Berührung des Ammoniak unwiderruflich bedingt; indem dies geschieht, entsteht, wie wir voraussetzen dürfen, nach beiden Seiten hin, nach a und c zu und darüber hinaus eine gesteigerte Erregbarkeit.

Dass nun je nach der Anwendung des aufsteigenden oder absteigenden Stromes, welchen man durch die ganze Strecke a b c schickt, die entgegengesetzten Wirkungen in Beziehung auf die Zuckungsform eintreten, darf offenbar zunächst als eine Consequenz jener Theorie der Reizung, welche Pflüger aufgestellt, und Bezold jüngst durch seine myographischen Untersuchungen noch weiter unterstützt hat, angesehen werden. Jene Theorie stellt bekanntlich den Satz auf, dass je nachdem man die Kette schliesst oder öffnet, und je nach der Richtung des Stromes der Ort der Reizung bald näher der einen, bald näher der anderen Elektrode liegt. Behalten wir

unsere Buchstabenbezeichnung bei und lassen c für das Nervenstück gelten, welchem die dem Muskel nähere Elektrode anliegt, a für dasjenige, welches die dem centralen Ende nähere Elektrode berührt, so können wir uns ein übersichtliches Schema entwerfen, wenn wir den Ort der Reizung mit dem grossen Buchstaben markiren. Wir erhalten dann

I. Für den absteigenden Strom:
1) Schliessen: a b C
2) Oeffnen: A b c

II. Für den aufsteigenden Strom;
3) Schliessen: A b c
4) Oeffnen: a b C

Ist nun das Stück b durch Ammoniak getödtet, und bleibt die Reizung vorläufig auf c im Fall 1 localisirt, so muss, wenn sich zugleich daselbst die Erregbarkeit gesteigert hat, der Effekt der Schliessung des absteigenden Stromes nicht blos bleiben, sondern vergrössert werden. Dies findet denn auch statt.

Bleibt im Fall 2 unseres Schema die Reizung auf A localisirt, und ist b getödtet, so nützt die voraussetzliche Erhöhung der Erregbarkeit in A und c nichts, denn die Leitung von A nach c ist unterbrochen; der anfängliche absteigende Strom giebt beim Oeffnen, wenn es vorher geschah, nachher keine Zuckung mehr. Auch diese Thatsache ergeben die Experimente.

Für den Fall 3 gilt dasselbe in Beziehung auf die Schliessung des aufsteigenden Stromes, wenn b mit Ammoniak getödtet worden.

In Fall 4 sollte man erwarten, dass wie bei 1 die Zuckung grösser wird, oder wenigstens nach der Ammoniakeinwirkung bei Stromstärken auftritt, bei welchen sie vorher nicht angetroffen wurde. Das letztere findet sich in der That auch bei Versuch II und III in der Reihe von Experimenten, welche mit den Kettenströmen angestellt wurden. Es muss das aber auf Rechnung einer besonderen Gunst der Umstände gebracht werden, weil man in den anderen Versuchen sieht, dass beim aufsteigenden Strom auch sehr bald die Oeffnungszuckung verschwindet. Erklärlich wird dies aus dem Schluss, welchen wir uns früher zu machen gezwungen sahen, dass nämlich durch das Ammoniak auf den weiteren Nervenstrecken eine molekuläre Anordnung hervorgerufen wird, welche der Wirkung des aufsteigenden Stromes überhaupt entgegen arbeitet. Es ist leicht denkbar, dass man hier und da Zeitmomente erhascht, in welchen die Beweglichkeit der Moleküle in C

noch nicht von der Stabilität der neuen Lagerung paralysirt ist. Jedenfalls stehen aber die Erscheinungen, welche wir beobachtet haben, auch mit Fall 4 unseres Schemas insofern in Einklang, als die verstärkten aufsteigenden Ströme zuerst oder ganz ausschliesslich eine Zeit lang Oeffnungszuckung herbeiführen.

Dass der Ort der Reizung zwischen den beiden Elektroden ausser durch die im Schema angegebenen Bedingungen auch noch durch die Stromstärken an beliebige Punkte verlegt werden könne, ist bekanntlich in Pflüger's Theorie bereits mit aufgenommen; dass er auch nach den Zuständen des Nerv variiren könne, ergiebt sich von selbst; denn die Stromstärke ist ja nur ein relativer Begriff gegenüber einem bestimmten Zustand der Nerven. Dass also, wie unsere Versuche gezeigt haben, nach einiger Zeit die Folgen von Schliessen und Oeffnen der auf- und absteigenden Ströme wieder Modificationen erleiden ist begreiflich, wenn auch vielleicht sehr schwierig in allen ihren Ursachen phänomenologisch zu verfolgen. Mit der specifischen Ammoniakwirkung stehen diese consecutiven Erscheinungen in zu lockerem Verband und sind zugleich zu wichtig für den innersten Kern der Reiztheorie, als dass ich sie nur nebenbei für unsere nächstliegenden Zwecke in Angriff nehmen wollte.

Damit sind wir am Schlusse der Untersuchung über die Folgen, welche die Berührung des Nerv mit Ammoniak nach sich zieht. Sie lassen sich in wenig Worten also zusammenfassen:

Wo das Ammoniak eine Stelle des Nerven in hinlänglicher Concentration erreicht, hebt es schliesslich daselbst die Leistungsfähigkeit: Leitung, sowie die Reizaufnahme oder Reizempfänglichkeit auf, und zwar um so schneller, je concentrirter und ausgebreiteter die Ammoniakwirkung ist. Kann in günstigen Fällen dieses Endergebniss in der allerkürzesten Frist, ja fast momentan herbeigeführt werden, so hat es doch einen Vorläufer, welcher sich um so bestimmter zu erkennen giebt, je mehr man durch Verdünnung des Ammoniak, oder durch Verkleinerung seiner Contaktfläche mit dem Nerv den Eintritt des letzten Stadiums verlangsamt. Dieser Vorläufer ist aber Reizung, wodurch von den sensitiven Nerven aus lebhafte Empfindungen und Schmerzen erzeugt werden, während sich zugleich an geköpften Thieren von den peripherischen Stellen oder von den hinteren Wurzeln aus kurz dauernde

Reflexbewegungen erzielen lassen. Selbst von den motorischen Fasern aus kann, freilich nur unter sehr günstigen Umständen, durch Ammoniak direkte Zuckung hervorgerufen werden.

Ist einmal die Leistungsfähigkeit des Nerv an der Applicationsstelle des Ammoniak aufgehoben, so ist sie durch kein Mittel bis jetzt wieder herzustellen gewesen; das Ammoniak tödtet also lokal den Nerv sehr rasch, und der Tod tritt, wie es scheint gleichgültig, ob das Vorläuferstadium lang oder kurz war, ganz plötzlich ein. Während des Ablaufes dieser beiden Stadien zeigen sich aber gleichzeitig und bedingt durch jene auf weite Strecken hinaus jenseits der Applicationsstelle Veränderungen in den Zuständen des Nerv, „Fernwirkungen" wie wir es genannt haben, und diese sind mit den entgegengesetzten Zeichen derjenigen Zustände behaftet, welche der Nerv an der Applicationsstelle zeigt.

Während des Stadiums der Reizung oder Erregung an Ort und Stelle ist entfernt davon die Reizaufnahme vermindert. Der Kochsalztetanus wird geringer, oder temporär ganz sistirt, durch elektrische Schläge hervorgerufene Zuckungen werden kleiner. Sowie aber der Tod an der Applicationsstelle eingetreten ist, und es scheint ebenso plötzlich wie jener kommt, ebenso plötzlich charakterisirt sich die Fernwirkung des Ammoniak durch Erhöhung der Reizbarkeit, Erleichterung der Reizaufnahme: der sistirte Kochsalztetanus bricht plötzlich mit verstärkter Gewalt wieder herein, die von den absteigenden Strömen erzeugten Zuckungen wachsen rasch über ihr anfängliches Maass hinaus. Doch diese Fernwirkung findet nach einigen (2—5) Minuten wieder ihre Grenze. Mit rascher Erschöpfung geht die tetanische Form der Kochsalzkrämpfe wieder in die klonische über, und es sinkt der Werth der Ordinaten, zu welchen sich vorher die Curve erhoben hatte; rasch nimmt die Grösse der Zuckungen ab, welche die elektrische Reizung erzeugt hatte. Das Stadium der erregenden Fernwirkung ist aber von einer ganz bestimmten Aenderung der molekulären Anordnung begleitet, in Folge deren der absteigende Strom allein einen Vorschub für seine Wirkung, der aufsteigende dagegen eine Hemmung erfährt.

Schematisch können wir uns die Wirkung des Ammoniak in folgender Weise übersichtlich machen, wenn wir die gleichzeitigen Zustände des davon getroffenen Nerv unter einander setzen:

Locale Wirkung: Erregung — Tod.
Fernwirkung: Schwächung — Verstärkung der Reizempfänglichkeit.

Täusche ich mich nicht, so ist diese Formel der Ausdruck für einen mehr allgemein gültigen Antagonismus; denn wir erkennen in der rechtsstehenden Parallele ein Analogon mit den Folgen mechanischer Destruction eines Nervenquerschnittes durch Druck und Durchschneidung. Die linksstehenden Parallelglieder lassen sich auch im XIII. Versuch unserer IV. Abtheilung wiederfinden, wo wir sahen, dass der Kochsalztetanus durch heftige, momentane, elektrische Reizung, welche an einer entfernten Nervenstelle angebracht worden ist, momentan sistirt wurde. Es ist derselbe Antagonismus, welcher schon so häufig zur Erklärung auffallender pathologischer Thatsachen hypothetisch für grössere Nervengebiete angenommen wurde.

Jetzt gewinnen auch die merkwürdigen Thatsachen, auf welche ich bei der Untersuchung der Ammoniakwirkung gegenüber den Centralorganen gestossen bin, mehr Licht*). Wir können uns nun leicht erklären, warum die Krämpfe, welche wir von der Rückseite des Markes her zu erregen im Stande sind, nicht sofort ausbrechen; weil während des ersten Stadiums der örtlichen Wirkung, in Folge deren ein kurz vorübergehendes Zittern auftritt, auf weite Strecken hin die Erregbarkeit vermindert ist; erst später, wenn an der Applicationsstelle der Tod der Nervensubstanz auftritt — erst dann beginnen jene Stürme von Krämpfen wegen der weit verbreiteten Erregung im Mark. Wie bei der Einwirkung jener Substanz auf die Centralorgane vor dem Ausbruch der Krämpfe eine kurze Pause vollkommener Ruhe gefunden wurde, so geben unsere mit dem Muskelpräparat gewonnenen Tetanuscurven dasselbe Bild momentaner Sistirung vorher eingeleiteter Zuckungen, um schnell darauf verstärkten Tetanus zum Ausbruch kommen zu lassen. Ja selbst in zeitlicher Beziehung treffen wir auf grosse Uebereinstimmungen sowohl in Beziehung auf das erkennbare Reizstadium, als auch die Länge der Pause, die Dauer der Fernwirkung.

V. Abtheilung.

Ich gebe schliesslich noch meine Erfahrungen über die Verbreitung des flüssigen Ammoniaks im Nerv und so viel ich über die physikalischen und chemischen Veränderungen habe

*) Sitzungsbericht der Math. physik. Classe der bayr. Akademie der Wissensch. Monat Februar 1861.

ermitteln können, welche die einzelnen Gewebselemente des Nerven durch flüssiges und dampfförmiges Ammoniak erfahren.

Um in jedem einzelnen Fall die Grenze sicher bestimmen zu können, bis wohin das flüssige Ammoniak gedrungen war, benutzte ich, wie schon erwähnt, Ammoniak, welches durch eine saturirte Lösung von Carmin in derselben Flüssigkeit sehr intensiv gefärbt war. Hat man die Nerven reinlich präparirt, so dass keine Blutgefässe und dergleichen dem Neurilem mehr angeheftet sind, so verfliesst das mit dem Miniaturpinsel aufgetragene Ammoniak nur äusserst wenig auf der feuchten Oberfläche des Neurilem. Im anderen Fall freilich wandert es durch Capillarattraction sofort weit in den Spalträumen fort, welche sich zwischen Neurilem und fremden, anhaftenden Gewebsmassen vorfinden. Um zu sehen, wie weit sich das flüssige Ammoniak in die Tiefe erstreckt hat, zu der Zeit, in welcher die Leistungsfähigkeit des Nerv an der Applicationsstelle bereits vollkommen vernichtet ist, verfuhr ich folgender Weise: Etwa 20 Mm. vor dem Eintritt des Nerv in den Muskel wurden die dicht beisammen liegenden Drahtenden der Inductionsvorrichtung mit einer Spannweite von 0,5 Mm. mit dem Nerv in Berührung gebracht, nachdem auf der myopolaren Strecke gürtelförmig das Ammoniak in einer Ausdehnung von 4—6—8 Mm. Länge aufgetragen worden war. Sobald durch die elektrischen Schläge keine Zuckungen mehr zu erzielen waren, schnitt ich den Nerv ab und warf ihn rasch in ein Gefäss mit Wasser, welches mit etwas Essigsäure versetzt war. Das saure Wasser wird sehr rasch imbibirt; die Säure fällt das Carmin an der Stelle aus, wo es sich eben befindet, und man kann nun nach 10—12 Stunden das Neurilem sehr bequem abziehen und untersuchen, wie tief die Carminlösung in den eigentlichen Nerv vorgedrungen ist. In keinem von allen den vielen Fällen, welche ich beobachtete, waren die Nervenfasern nur im Geringsten geröthet, blos und ausschliesslich war das Neurilem von der rothen Farbe durchdrungen.

Wenn also das Nervenstück bereits völlig getödtet ist, ist noch keine Spur flüssigen Ammoniaks zu dem eigentlichen Nerv vorgedrungen. Was den Tod verursachte, musste das Minimum von Dampf sein, welcher die wirksamen Nervenelemente erreicht.

Welcher Natur die Veränderung aber sei, konnte natürlich nicht mehr an Präparaten geprüft werden, welche zugleich längerer Quellung in saurem Wasser ausgesetzt waren. Ich benutzte dazu die feinen Hautnerven des frisch geschlachteten Thieres. Auf ein Objectglas legte ich zwei Deckgläschen Nr. 9. und in die Lücke zwischen beiden ohne Weiteres den feinen

von Lymphe feuchten Nerv. Ohne alle Quetschung des Nerv konnte mit dem Deckgläschen der Raum zwischen den beiden anderen überbrückt und die mikroskopische Beobachtung vorgenommen werden. Kam darauf etwas Ammoniak in den Raum, so war es unmöglich, dass der Nerv in Folge der Capillarattraction, welche Objectglas und Deckgläschen ausserdem gegen einander hingezogen hätte, einem nicht beabsichtigten Druck ausgesetzt wurde. Es war also auch die Messung des Nervendurchmessers vor und nach der Ammoniakwirkung dadurch gestattet. Sie an den nicht isolirten Fasern vorzunehmen, schien mir nicht sicher genug. Ich maass deshalb nur die Entfernung der inneren Neurilembegrenzung von einer Seite zur andern. Diese Distanz blieb sich gleich; wesentliche Durchmesser-Veränderungen der Primitivfasern konnten also auch nicht vorhanden sein. Charakteristisch ist dagegen die photometrische Veränderung, welche die Nerven ganz plötzlich durch den Ammoniakdampf erfahren, indem sie nämlich sofort viel transparenter werden als sie vorher waren; zugleich treten sehr bestimmt die vorher noch nicht wahrzunehmenden doppelten Contouren auf; krümlig wird wenigstens im Anfang die Markscheide nicht.

Wenn man Nerven mehrere Minuten länger als zu ihrer Tödtung nöthig ist, in dem gefärbten Ammoniak liegen lässt, dann abwäscht, zerzupft und mikroskopisch untersucht, so sieht man, dass alles, was den Charakter der Hüllen hat, intensiv roth gefärbt ist, besonders das äussere Neurilem und seine Fortsätze zwischen den Fasern; aber auch wenn die Faserscheiden schon sehr deutlich gefärbt sind, ist die Markscheide noch ganz farblos, was man sowohl an den noch unversehrten Fasern, als an dem in Tropfen ausgetretenen Inhalt unmittelbar erkennen kann. Niemals sah ich einen rothgefärbten Axencylinder. Ausser der, wie es hiernach scheint, allein von den Veränderungen der Hüllengebilde abhängigen Vergrösserung der Transparenz des ganzen Nerven lässt sich mikroskopisch nichts finden, was die Ammoniakwirkung zu der Zeit, in welcher der Nerv schon getödtet ist, in irgend auffälliger Weise charakterisiren könnte.

Beiläufig bemerke ich, dass man, wenn man die Nerven kurze Zeit hat in Carminlösung liegen lassen, die Kerngebilde an ihnen sehr hübsch darstellen kann, wenn man sie nachher abwäscht und mit Essigsäure behandelt.

Aus dem chemischen Verhalten der Nervensubstanz zum Ammoniak im Allgemeinen auf die Ursachen zu schliessen, aus welchen das Ammoniak physiologisch so wirkt, wie wir gefunden haben, dürfte zu der Zeit wohl nicht des Versuches

werth sein, weil wir über die wesentlichen und unwesentlichen Bestandtheile der Nerven noch so gut wie nichts wissen. Da man vermuthet, dass zu den letzteren die Nervenhüllen gehören, aus sehr vielen Thatsachen aber hervorgeht, dass die Hüllen jedenfalls einen secundären Einfluss auf die Leistung der Nerven haben, so musste wenigstens der Versuch gemacht werden, ob physikalische Eigenschaften der Hüllen durch das Ammoniak in bestimmter und auffälliger Weise geändert werden.

Ich benutzte sogleich das empfindlichste Instrument, welches wir zur Ermittlung der Cohäsionsänderungen haben, nämlich die Drehwaage, wie ich dieselbe für physiologische Zwecke eingerichtet und schon anderwärts andeutungsweise beschrieben habe. Der in eigens dazu construirten Klemmen befestigte Nerv trägt einen langen, leichten Magnet, welcher über der Theilung auf einem Spiegel schwingt. Der Nerv selbst hängt in einer Glasröhre, deren obere Fassung den grossen Torsionskreis trägt, und in der Glasröhre befindet sich als Auskleidung feuchtes Curcumapapier. Der Apparat ist zuerst in Beziehung auf den magnetischen Meridian orientirt, und in sein Inneres führt nur ein kleiner Zugang in der Glaswand, durch welchen ein dünnes elastisches Röhrchen geführt ist. Es mündet dasselbe in ein Näpfchen, welches unter dem Nerv steht, und gestattet letzteres von aussen mit flüssigem Ammoniak zu füllen.

Dies geschieht aber erst, nachdem der Nerv lange genug mit dem Magnet beschwert und mehrmal mit ihm der Torsionsversuch gemacht worden ist, aus welchem man erkennt, wie viel Grade die Drehung betragen muss, um den Magnet bis zu einem bestimmten Werth der Ablenkung vom magnetischen Meridian wegzuführen. Ist das Ammoniak in den Apparat gebracht, so giebt die fortschreitende Färbung des Curcumapapier, welches nebenbei den Nerv vor Wasserverlust schützt, an, in welchem Mass sich die Ammoniakdämpfe in der nächsten Atmosphäre des Nerv verbreitet haben. Es genügt die Mittheilung eines Versuches:

	Torsion	Ablenkung des Magnet
1)	$0 - 360^0$	$0 - 21{,}5^0$
2)	$0 - 360^0$	$0 - 21{,}5^0$
	$360 - 450^0$	$21{,}5^0 - 26^0$
3)	$0 - 360^0$	$0 - 19{,}5^0$
	$360 - 450^0$	$19{,}5^0 - 25^0$

3^h $3'$ wird das Ammoniak in den Apparat gebracht.
3^h $9'$ das Curcumapapier schon zur Hälfte ganz braun.

	Torsion	Ablenkung des Magnet
	1) 360 — 450°	19° — 25°
3^h 22,5′	2) 360 — 450°	18° — 24°
	Das Curcumapapier durchaus tief braun gefärbt.	
3^h 42′	0 — 450°	18° — 24,5°
4^h 26′	450°	25°

Es war also die längste und stärkste Einwirkung des Ammoniakdampfes hiernach ohne allen Einfluss auf die Torsionselasticität des Gesammtnerv, was unmöglich wäre, wenn das Ammoniak blos durch Vermittlung der physikalischen Aenderung in den Hüllen secundär auf die wesentlichen Elemente tödtend wirkte.

Nach brieflichen Mittheilungen des Herrn Prof. Meissner, welchen ich bat, an seinem neuen Galvanometer vorläufig einen Versuch anzustellen, ist die Berührung des Nerv mit dem Ammoniakpinsel zwischen den Bäuschen, auf welchen einerseits der Querschnitt, andererseits der natürliche Längsschnitt aufliegt, von folgenden Erscheinungen begleitet: Im Moment der Berührung verstärkt sich der Strom des ruhenden Nerven, um dann sehr rasch abzunehmen; hie und da wird er dazwischen etwas stärker; eine neue Berührung treibt ihn sofort momentan wieder in die Höhe; ja selbst wenn der Strom schon eine Umkehr erfahren hatte, was bei längerer Ammoniakeinwirkung erfolgt, entsteht bei abermaliger Berührung des Nerv momentan wieder ein sehr grosser Ausschlag im Sinn des anfänglichen Stromes. Eigene Untersuchungen und Modificationen des Experimentes muss ich versparen, bis ich selbst im Besitz eines entsprechenden Instrumentes bin.

Wir müssen also gestehen, dass es bis jetzt nicht möglich war anzugeben, wodurch das Ammoniak die beschriebenen Wirkungen am Nerv hervorbringt, wobei uns der freilich traurige Trost bleibt, dass es noch mehr Stoffe giebt, welche die intensivsten Wirkungen auf das Nervensystem ausüben, ohne dass es bis jetzt irgend Jemand gelungen wäre zu erklären, wodurch es geschieht.

Ueber die Verbindung der Muskelfasern mit ihren Ansatzpunkten.

Von

Dr. **August Weismann** in Frankfurt a/M.

(Hierzu Tafel IV — VI.)

Die Verbindung zwischen den Primitivbündeln eines Muskels und seiner Sehne stellte man sich in der ersten Zeit histologischer Untersuchungen als eine „genaue Verflechtung" vor, „wobei die Muskelfasern verschmälert oder abgerundet enden. An das Ende des Muskelbündels setzen sich die Sehnenfasern im ganzen Umkreise an, wie wenn ein Finger der einen Hand von den fünf Fingern der andern circulär umfasst wird." So Valentin (s. Henle's „Allgemeine Anatomie" S. 592).

Später führten vergleichend histologische Beobachtungen auf die Annahme eines directen Ueberganges des Sehnengewebes in das Sarkolemma. Es war zuerst Reichert*), der an dem grossen Kiefermuskel des Krebses einen solchen Uebergang direct wahrzunehmen glaubte, und fussend auf seinem gewiss berechtigten Continuitätsgesetz die Folgerung zog, beide Gebilde müssten einer Entwicklungsreihe angehören, das Sarkolemma sei ein umgewandeltes Bindegewebe.

Obgleich Reichert bei den Wirbelthieren keine geeignete Stelle zur Entscheidung dieser Frage finden konnte, so schien es ihm doch genügend, „dass man den Uebergang einer einzigen primitiven Muskelfaserscheide in das Bindegewebe der Sehne etc. nachgewiesen habe", und er schloss so aus seiner Beobachtung am Flusskrebs auf ein gleiches Verhältniss bei den Wirbelthieren. Spätere Erfahrungen rechtfertigten auch diese Folgerung insofern, als man auch beim Menschen und den übrigen Wirbel-

*) Vergleichende Beobachtungen über das Bindegewebe und die verwandten Gebilde. Dorpat 1845.

thieren Stellen auffand, an denen das Sarkolemma in die Sehnenfasern überzugehen schien. (Siehe in Kölliker's Handbuch der Gewebelehre S. 176., Fick in Müller's Arch. 1856. S. 425 und in Frey's Histologie S. 359.)

Damit war die Sache indessen nicht abgeschlossen, sondern bis in die neueste Zeit standen dem Wesentlichen nach noch dieselben zwei Ansichten einander gegenüber, deren eine, den directen Uebergang annehmend, das Sarkolemma als ein bindegewebiges Gebilde auffasst, während die andere auf der chemisch so sehr vom Bindegewebe abweichenden Natur des Sarkolemma fusst, den directen Zusammenhang beider Gewebe leugnet und in Uebereinstimmung mit den Resultaten der Entwicklungsgeschichte das Sarkolemma als Zellmembran betrachtet.

Kölliker allein nahm eine doppelte Verbindungsweise an, einmal den directen Uebergang und dann eine blosse Verklebung der Enden der Primitivbündel mit der Oberfläche der Sehne. Es müsste hiernach ein und dasselbe Gewebe bald als Zellenmembran bald als Bindegewebe aufgefasst werden, — Grund genug, dass die Ansicht Kölliker's, trotz der Genauigkeit und Objectivität seiner Beobachtung, bei Theoretikern wenig Anklang fand. Gleichwohl hat Kölliker richtig gesehen und seine Bilder nur da irrig gedeutet, wo er einen directen Uebergang zu finden glaubte.

Ich habe es hauptsächlich der Anwendung eines neuen Reagens zu danken, über diese Verhältnisse ins Klare gekommen zu sein. Bereits in meiner Arbeit über das Wachsthum des Muskels*) wurde die Wirkung beschrieben, welche eine 35 % Kalilauge auf die animalischen Muskeln ausübt. Nach etwa halbstündiger Einwirkung lösen sich die Primitivbündel mit grösster Leichtigkeit los, nicht nur aus ihrer gegenseitigen Aneinanderlagerung, sondern auch aus ihrer Verbindung mit der Sehne oder andern bindegewebigen Insertionspunkten. Es findet dabei keinerlei Zerreissung statt.

Dies allein spricht schon sehr entschieden gegen eine wirkliche Continuität zwischen Sarkolemma und Bindegewebe.

Zur genaueren Darstellung der fraglichen Verhältnisse ist der Frosch sehr geeignet. Legt man den Gastrocnemius des Frosches in die Kalilauge von 35 %, so lassen sich nach etwa einer halben Stunde die Primitivbündel durch leichtes Streichen aus ihren Ansätzen herausheben. Beginnt man damit an der hinteren Seite des Muskels, da wo zwischen den oberen Ansätzen der kurzen Sehne und der von unten heraufsteigenden,

*) Diese Zeitschr. Dritte Reihe. Bd. X. S. 264.

die hintere Fläche umhüllenden Aponeurose ein freier, nur von blosliegenden Muskelfasern eingenommener Raum bleibt, so bemerkt man, dass die oberen Enden sich leichter aus ihrer Sehneninsertion lösen, als die unteren, welche sich an den oberen Rand der Aponeurose ansetzen; bisweilen bleiben sogar einzelne Bündel in ihrem Sehnenansatz fest und lassen sich mit der Fascie zurückschlagen. Der Grund dieser festeren Verbindung wird später erörtert werden.

Bei weiterem schichtweisen Herausnehmen der Primitivbündel ist sehr deutlich zu sehen, wie sie, alle von fast gleicher Länge, dachziegelförmig über einander gelagert in verschiedenen Schichten die ganze innere Fläche der Fascienkapsel mit ihren Ansätzen vollständig bedecken. Es geschieht dies in der Weise, wie ich schon a. a. O. S. 266 kurz angab, dass ein jedes Primitivbündel nicht mehr als ein Viertel der Länge des Muskels misst und also die oberen Insertionen der Bündel bis ans untere Viertel der Sehnenhülse hinabreichen. Primitivbündel, welche frei zwischen den anderen enden, nach Art der Zellen organischer Muskeln, kommen in den Muskeln des Frosches nur sehr ausnahmsweise vor.

Von wesentlicher Bedeutung scheint hier der Umstand, dass die von der Sehne ausstrahlende, den Muskel fast gänzlich umschliessende Hülse nirgends blos als Hülle, sondern in ihrer ganzen inneren Fläche den Primitivbündeln zum Ansatz dient. Nach vollständiger Entfernung der Muskelmasse erscheint die Innenfläche der Hülse unter dem Mikroskop glatt, d. h. die Sehnenbündel laufen lang gestreckt über die Fläche und nirgends ragen Sehnenfasern senkrecht zum Gesichtsfeld hervor. Dies beweist schon, dass nicht, wie Fick*) meinte, einem jeden Primitivbündel stets ein Sehnenbündel entsprechen muss. Im Gegentheil ist es klar, dass hier, wo die Ansätze der Primitivbündel dicht gedrängt neben einander stehen, an ein und dasselbe Sehnenfascikel sich nach einander eine kürzere oder längere Reihe von Muskelfasern ansetzt. Im allgemeineren Sinn ist jene Ansicht freilich ganz richtig; die Menge der Sehnenfascikel, eine beliebige Dicke als Einheit angenommen, steht in bestimmtem Verhältniss zur Zahl der Muskelansätze, wie sich aus der einfachen Thatsache ergiebt, dass die Dicke einer solchen Aponeurose nach aufwärts allmälig abnimmt.

Die Enden der von der inneren Fläche der Sehnenhülse abgelösten Primitivbündel zeigen eine ziemliche Mannigfaltigkeit von Formen, von der einfachen Abrundung, der mehr

*) Müller's Arch. 1856. S. 425.

oder minder raschen Zuspitzung, der graden oder schrägen Abstutzung bis zur kolbigen Anschwellung; constant aber bildet das Faserende ein wohl abgeschlossenes, nicht gerissenes, von scharfem, bestimmtem Contour umgrenztes Ganze (Fig. I.), um dessen unteren Umfang sich nicht selten, besonders bei jungen Thieren, das Sarkolemma deutlich als doppelter Contour herumverfolgen lässt. (Fig. III.) Eine Continuität zwischen Sarkolemma und Bindegewebe der Sehne findet hier also unzweifelhaft nicht statt.

Die Innenfläche der Fascie erhält durch Erhebungen und Vertiefungen ein wellenförmiges Ansehen. Hügelartige Erhebungen, welche in verschiedenen Abständen von einander nahezu parallel über die Fläche hinlaufen, theilen diese in viele flache Rinnen. In diesen Rinnen sitzen die Primitivbündel, sich mit ihren Endflächen genau den Unebenheiten der Sehnenfläche anschmiegend. Ihre feste Adhäsion ist zweifellos durch dieselbe verkittende Substanz bedingt, welche auch die Primitivbündel zusammen verbindet, welche die Eigenschaft besitzt, von der 35 % Kalilauge gelöst zu werden, und welche ich in meiner ersten Abhandlung über diesen Gegenstand bereits vermuthungsweise als eine Leimart bezeichnet habe. Leider hat mir die Zeit bis jetzt nicht gestattet, eine ausführlichere chemische Untersuchung des Körpers vorzunehmen.

Es versteht sich wohl von selbst, dass die Wellenberge der Sehnenfläche nicht frei bleiben von Muskelansätzen; die Enden der Primitivbündel ziehen sich entweder bis auf die Höhe hinauf, oder aber, was ich öfters besonders bei sehr schrägem Ansatz fand, sie erstrecken sich über mehrere Thäler und Berge hinaus, so dass dann das Muskelende einen muschelartigen Bruch zeigt. (Fig. II und IV.)

Ueberhaupt wird die mannigfaltige Form der Faserenden bei dieser Art der Verbindung mit der Sehne bedingt durch dreierlei Einflüsse: durch die Unebenheiten der Ansatzfläche, durch die Gestalt und den Druck der Nachbarbündel, durch den Ansatzwinkel. Die Figuren I, II, III, IV, VIII geben die Abbildungen einiger Hauptformen. — Es ist bekannt, in wie eigenthümlicher Weise sich die Blutgefässe im Muskel vertheilen, sowie dass die Capillarnetze des Muskels mit den Gefässen der Sehne in keinem Zusammenhang stehen. Die Behandlung mit Kalilauge, welche häufig die zwischen den Primitivbündeln verlaufenden Capillaren in natürlicher Injection beobachten lässt, zeigt auch das Verhalten dieser Capillaren auf der Ansatzfläche der Sehne. Sie bilden hier weitmaschige Netze, indem sie zwischen den Muskelansätzen

hindurchlaufen und zwar meistens auf den Wellenbergen sich hinziehen. Man sieht sehr wohl, wie sie nirgends in die Sehne eindringen, sondern nur flach aufliegen.

Die bis jetzt beschriebene Art der Verbindung ist also dieselbe, welche Kölliker*) für alle die Fälle annimmt, wo Primitivbündel und Sehnenfläche in einem Winkel auf einander stossen.

Ich komme zur zweiten Art der Verbindung beider Elemente und bleibe vorerst noch bei dem Beispiel vom Gastrocnemius. Es wurde oben erwähnt, dass beim Abheben der oberen Muskelschicht die Primitivbündel sich aus ihrem unteren Ansatz schwerer lösen als von dem oberen. Bringt man nun diese Fasern, ohne sie loszulösen, unter das Mikroskop, so sieht man, dass ein jedes der Primitivbündel an einem längeren oder kürzeren Sehnenfascikel hängt, scheinbar continuirlich in dasselbe übergehend. Stellt man bei starker Vergrösserung den Focus auf die obere Fläche der Uebergangsstelle ein, so bemerkt man, wie die einzelnen Sehnenfasern in ziemlich gleicher Höhe auf dem homogenen Sarkolemma enden, und mit ihren Endzipfeln nahezu einen Kreis um das Bündel herum bilden. Schon bei dieser Einstellung fällt auf, dass der eigenthümliche Lichtreflex der contractilen Substanz auch noch unterhalb dieser Grenzlinie durchschimmert, und senkt man dann den Tubus etwas, so lässt sich oft vollkommen deutlich wahrnehmen, wie die contractile Substanz, sei es in Form einer rundlichen Kuppe, sei es kegelförmig oder zackig, etwas tiefer abwärts endet. Wird sodann der Tubus noch mehr gesenkt, so dass die untere Fläche in den Focus zu liegen kommt, so erhält man wieder ein Bild, wie das erste, eine Querlinie von Sehnenfaserenden, fast genau in gleicher Höhe mit der oberen liegend. (Fig. VI. *A.*)

Die Sehnenfasern liegen dem Sarkolemma ganz dicht an, es hat vollkommen das Aussehen, als gingen sie in dasselbe über; bewegt man jedoch das Deckgläschen etwas hin und her, so gelingt es zuweilen, eines der Primitivbündel aus seiner Hülse herauszubringen und man sieht dann Muskel- und Sehnenende neben einander liegen. (Fig. VI. *B.*) Die Hülse hat gewöhnlich mehrere Zipfel, welche zusammen einen Trichter bilden. In diesen eingesenkt liegt das Ende des Primitivbündels. Die Gestalt des Primitivbündels wechselt zwischen der einer rundlichen Kuppe und einer stumpfen Kegelspitze. In beiden Fällen ist es mir gelungen, das Sarkolemma als

*) a. a. O.

doppelten Contour um das Ende herum zu verfolgen. Einmal sogar hatte sich dasselbe vom Inhalt an einer Stelle abgehoben. (Fig. V.) Meistens aber ist der Contour nur einfach, wie auch im Verlauf eines Primitivbündels das Sarkolemma sich nur zuweilen als doppelter Contour deutlich hervorhebt.

Die das Bündel umfassenden Sehnenzipfel lassen häufig Eindrücke auf diesem zurück. Man sieht einen Kranz von feinen, flachen Furchen auf dem Sarkolemma, in Lage und Gestalt genau entsprechend der abgelösten Sehnenhülse (Fig. VI. *B. b*) und zwar kann man diesen wiederum auf der oberen wie auf der unteren Fläche deutlich erkennen*).

Daran schliessen sich denn die sehr auffallenden Formen, in welchen das Primitivbündel an seinem Ende in mehr oder minder freie Fransen von contractiler Substanz ausläuft.

Diese kommen offenbar dadurch zu Stande, dass die Impressionen der Sehnenfasern sich immer mehr vertiefen und so allmälig die contractile Substanz zur Seite drücken. Es liegt dann also unter jedem Sehnenfascikelchen nur noch leeres, von beiden Seiten gegen einander gepresstes Sarkolemma. Die contractile Substanz endet in Zipfeln, welche den Raum zwischen den Zipfeln der Sehnenhülse einnehmen. Ein weiterer Schritt ist dann die Verschmelzung der beiden an einander liegenden Platten des Sarkolemmas und schliesslich ihre Resorption. Im letzten Fall entstehen freie Zipfel contractiler Substanz, welche natürlich vom Sarkolemma eingeschlossen sind, aber unter einander nicht mehr zusammenhängen.

Man zweifelt vielleicht, ob die Sehnenkapsel einen Druck auf das Primitivbündel ausüben könne. Mir scheint, dass schon eine jede Contraction des Muskels einen solchen erzeugen muss. Das Bündel verdickt sich, die contractile Substanz wird gleichsam streben, sich zwischen den umspannenden Fascikeln der Kapsel durchzudrängen. Einen noch bedeutenderen Einfluss übt wohl das allmälige Wachsthum in die Dicke aus, und es ist viel weniger ein directes Zusammenpressen der Hülse, welches die starken Impressionen hervorbringt, als vielmehr der Mangel an Nachgiebigkeit derselben während des Wachsthums.

---

*) Dass fremde Körper, welche zwischen den Fasern eines Muskels liegen, Eindrücke hinterlassen, kann man auch sonst noch an verschiedenen Orten sehen. So z. B. drücken sich die Capillargefässnetze in den Muskeln der Maus und vieler anderer Thiere ganz regelmässig auf den Primitivbündeln ab. Isolirt man diese mit Kali, so sieht man auf ihrer Oberfläche seichte Furchen, in Grösse und Verlauf vollkommen den Capillargefässen entsprechend. Ganz in derselben Weise kann man auf den Muskelbündeln vieler Insecten die Abdrücke der Tracheenverzweigungen wahrnehmen. In Fig. XII *C.* sind letztere angedeutet.

Dass diese Deutung die richtige ist, lässt sich durch Vergleichung von jungen mit ausgewachsenen Thieren sehr wohl beobachten. Bei ersteren findet man kuppenförmig abgerundete Enden mit scharfem, wenn auch zartem Contour; nur das äusserste Ende der Faser ist mehr oder weniger abgeplattet und trägt die Eindrücke der umfassenden Sehnenfasern als helle Streifen, welche mit stärker lichtbrechenden Streifen contractiler Substanz abwechseln. (Fig. VII. *A*.) Bei älteren Thieren sieht man, wie sich das Sarkolemma bei vorgeschrittener Abplattung des Faserendes an den Stellen, an welchen es nicht angefüllt ist, zurückgezogen hat; man findet lange Fransen contractiler Substanz, verbunden durch die in eins verschmolzenen Sarkolemmaplatten wie durch eine durchsichtige kaum erkennbare Schwimmhaut, welche mit halbmondförmig eingebuchtetem Contour endet. (Fig. VII. *B* u. *C*.) Aber auch diese zarte verbindende Membran verschwindet in anderen Fällen. Man sieht dann das Primitivbündel in eine Anzahl freier Fransen auslaufen, welche aus contractiler Substanz bestehen. (Fig. VII. *D*.) Dies findet sich indessen nie bei ganz jungen Thieren und ist auch bei ausgewachsenen keineswegs die Regel. Die Querstreifung reicht nicht selten bis in die äusserste Spitze der Fransen; wenn dies Zeichen aber auch fehlt, so genügt der eigenthümliche blaue Lichtreflex der contractilen Substanz, um über die Natur der Fransen keinen Zweifel zu lassen.

Dass diese Fransen noch von einem eng anliegenden Sarkolemma umkleidet sind, lässt sich zwar nicht direct wahrnehmen, jedoch mit Sicherheit daraus schliessen, dass dasselbe oberhalb der Zipfel nirgends abgerissen ist. In den Fällen, wo das Sarkolemma als zarte Membran zwischen den Fransen erhalten bleibt, ist es selbstverständlich, dass dasselbe auch die Fransen umfasst. Häufig sind die zarten Reste des Sarkolemma schwer zu sehen; man erkennt sie dann daran, dass die Fransen nicht frei in der Flüssigkeit flottiren, in welcher sie liegen.

Letztere sind von sehr verschiedener Länge, und natürlich auch an Zahl und Feinheit nicht gleich, je nachdem die Sehnenhülse das Muskelende in längerer oder kürzerer Strecke umfasste, und je nach der Dicke der einzelnen umfassenden Sehnenbündelchen und des Primitivbündels selbst.

Die zweite Art der Verbindung von Muskelende und Sehne besteht also darin, dass das Faserende von einer Sehnenhülse umfasst wird, welche mit dem Sarkolemma durch denselben Kitt vereinigt ist, der auch die Verbindung bei dem Flächenansatz herstellt. Dass die in eine Hülse eingepassten

Muskelenden auch nach Lösung des Kitts nicht so leicht herausfallen, als solche, die einfach auf einer Fläche aufstehen, ist leicht begreiflich; ebenso, dass in der obersten Lage des Muskels eine festere Vereinigung hergestellt werden musste, als in den tieferen. Die oberflächliche Lage von Primitivbündeln am Gastrocnemius, also die Lage, welche von der Aponeurose nicht bedeckt wird, inserirt sich nach unten an dem Rand der Aponeurose, wo für jedes Primitivbündel ein besonderer Sehnenzipfel vorhanden ist. Der Rand der Aponeurose läuft in eine Menge solcher Zipfel aus, welche dicht neben einander stehend eine einfache Reihe bilden. Daraus darf indessen nicht gefolgert werden, dass jedes der dazu gehörigen Primitivbündel mit Fransen endige. Die Bildung von Fransen hängt vor Allem auch von der Dicke des Muskelendes ab; ist diese sehr gross, so findet man nur seichte Impressionen, zuweilen nicht einmal diese, während die Bildung von Fransen um so leichter stattfindet, je mehr sich das Primitivbündel gegen sein Ende hin abplattet.

Es ist klar, dass die beiden Arten der Verbindung, welche zwischen Muskel und Sehne stattfinden können, ihrem Wesen nach nicht verschieden sind; es findet in beiden Fällen eine mehr oder weniger innige Aneinanderlagerung statt, keine Continuität. Das Sarkolemma der Muskelbündel des Frosches darf deshalb auch nicht als ein bindegewebiges Gebilde angesehen werden; von Seiten des Continuitätsgesetzes wenigstens kann seiner Auffassung als Zellenmembran nichts im Wege stehen.

Eine dritte Art des Muskelansatzes giebt es nicht, doch kommen Uebergangsstufen zwischen den beiden besprochenen vor, so dass das Ende des Primitivbündels weder durch einfache Verklebung mit der freien Ansatzfläche verbunden ist noch durch eine ganz vollständige Hülse der Sehnenbündelchen umfasst wird. Es finden sich solche Ansätze besonders am Perichondrium und am Periost. Das Muskelende zeigt dann oft Abplattung in hohem Grade mit sehr zartem, buchtigem untern Randcontour und feinen längslaufenden Impressionen, doch kommt keine eigentliche Fransenbildung zu Stande.

Im Allgemeinen vertheilen sich die beiden Arten des Ansatzes in der Weise, dass die einfache Verklebung da eintritt, wo Muskel**enden** mit einer Sehnen**fläche** verbunden werden sollen, die Einhülsung des Muskelendes aber in jenen Fällen, wo die Richtung der Sehnen**faser** und des **Primitivbündels** dieselbe ist. Es hängt also von der Richtung eines jeden einzelnen

Primitivbündels zu der der Sehnenfasern ab, welche Art der Verbindung zu Stande kommt, und man kann demnach die Muskeln nicht eintheilen in solche mit Flächenansatz und in solche mit Kapselansatz, weil Beides an ein und demselben Muskel vorkommen kann und begreiflicherweise häufiger vorkommt, als blos gerade oder blos schräge Ansätze. Das beste Beispiel für beide Insertionsarten bot uns der Gastrocnemius; ganz ähnlich verhält es sich an den meisten Extremitätenmuskeln. Dagegen hat z. B. der Bauchmuskel des Frosches lauter gerade Ansätze, und jedes Primitivbündel steckt auf beiden Seiten in seiner besondern Sehnenhülse. Zwei Fascien nehmen den Muskel zwischen sich, eine vordere und eine hintere; keine von diesen dient als Ansatzfläche, sondern sämmtliche Primitivbündel inseriren sich an die sogenannten Inscriptiones tendineae, quere Sehnenriffe von gleicher Dicke mit der Muskellage, welche nach beiden Seiten in eine Menge von kurzen Zipfeln ausstrahlen. Jeder von diesen ist zur Aufnahme eines Primitivbündels bestimmt. Man findet deshalb auch in diesem Muskel beinah alle Muskelbündel an beiden Enden gefranst.

Ganz ähnlich verhält sich der Ansatz der Brustmuskeln an dem Perichondrium des Brustbeins, insofern auch hier die Muskelfasern nicht auf einer glatten Fläche aufstehen, und so mit dem Zug der Sehnenfasern einen Winkel bilden, sondern Sehnenzipfel in der Richtung der Primitivbündel auf diese zulaufen und sie umfassen. Ich habe bereits erwähnt, dass diese Umfassung hier nicht immer so vollständig geschieht, wie an andern Orten. Noch weit unvollständiger ist sie bei den Ansätzen an's Periost; hier, z. B. bei der Insertion der Oberschenkelmuskeln am Femur, nähert sich die Art der Verbindung wieder bedeutend der einfachen Verklebung mit einer Fläche. Demgemäss finden sich hier keine gefransten Enden, sondern gerade oder schräg abgestutzte, rundlich gewölbte, zugespitzte, kolbig angeschwollene, oder auch, und dies besonders häufig, blattförmig abgeplattete Enden.

Es bleibt mir noch übrig, die Ansätze der Hautmuskeln zu besprechen. Löst man die Primitivbündel des bekannten Hautmuskels der Brust beim Frosch mit Kali los, so findet man die Enden meist schräg abgeschnitten und mit deutlichem doppelcontourirtem Sarkolemma, oder auch kolbig oder einfach rundlich. Ihre Insertionspunkte bilden zusammen eine gerade Linie, keines wird von einer eigentlichen Sehnenkapsel umfasst, doch befinden sich theilweise kleine Gruben im Bindegewebe, in welche sie eingesenkt sind.

Ich komme zur Untersuchung der eben am Frosch erörterten Verhältnisse bei den übrigen Thierformen. Wesentliche Abweichungen kommen auch hier nicht vor.

Fischmuskeln mit Kali von 35 % behandelt, lösen sich mit grösster Leichtigkeit aus ihrer Verbindung unter einander, wie aus ihren Ansatzpunkten. Die Enden der Primitivbündel, ihre Verbindung mit Sehne oder sonstiger Ansatzfläche verhalten sich ganz wie beim Frosche.

Bei den Arthropoden fand die Ansicht vom continuirlichen Uebergang der Sehne ins Sarkolemma seit Reichert*) ihre sicherste Stütze. Die Bilder, welche man dort ohne Anwendung eines lösenden Reagens erhält, schienen jene Auslegung so sehr zu stützen, dass man die hieraus resultirenden theoretischen Unbequemlichkeiten sogar durch die Annahme zu beseitigen suchte, die Arthropodensehne sei histologisch überhaupt kein Analogon der Wirbelthiersehne. Nachfolgendes wird eine solche Trennung unnöthig erscheinen lassen.

Betrachtet man den grossen Kiefermuskel des Flusskrebses, so sieht man mit Reichert, wie sich die dünne, harte, im Innern ein Chitinskelett enthaltende Sehne an der Anfügungsstelle an den Muskel pinselförmig ausbreitet und in eine Menge secundäre und tertiäre Aestchen zertheilt. Bringt man dann „eine solche feine Sehne, an welcher gewöhnlich mehrere primitive Muskelbündel, wie Eicheln an ihren Stengeln hängen", isolirt unter das Mikroskop, so glaubt man allerdings zu sehen, wie „gegen die Muskelfaser hin sich das Verbindungsstück zu einem cylinderförmig gestalteten Sack entfaltet", der mit dem Sarkolemma ein Continuum bildet. Das Täuschende dieses Bildes wird erst dann ersichtlich, wenn man den ganzen Kiefermuskel, an welchem nur die Sehne vor ihrem Ansatz an den Kiefer durchschnitten wurde, sammt dem zugehörigen Stück Brustschild mit Kalilauge behandelt. Nach halbstündiger Einwirkung kann man mit grosser Leichtigkeit die Primitivbündel aus ihren beiderseitigen Ansätzen herausheben und isoliren. Das Mikroskop zeigt dann, dass die in die Sehne befestigten Enden sich im Wesentlichen ebenso verhalten, wie die gefransten Muskelfaserenden des Frosches. Unterschiede finden nur insofern statt, als das gewaltig dicke Primitivbündel des Krebses fast ausnahmslos in mehrere grobe, kegelförmige Spitzen endet, deren jede dann in dichtstehende Fransen ausläuft. (Fig. IX.)

*) a. a. O.

Aehnliches kommt übrigens zuweilen auch beim Frosch vor (siehe z. B. Fig. VII. *c*). Endigung in mehrere Spitzen ist schon früher von Herzig und Biesiadecki*) beschrieben worden; ich brauche nur noch hinzuzufügen, dass sie am häufigsten beim graden Ansatz vorkommen und dann meist gefranst sind. Beim Krebs ist es mir nicht gelungen, die Uebergangsformen von seichten Abdrücken der umspannenden Sehnenfasern bis zur vollkommenen Fransenbildung zu verfolgen, vermuthlich deshalb, weil ich ganz junge Krebse nicht untersucht habe; indessen sieht man auch am ausgewachsenen Thier sehr oft die Fransen durch eine durchsichtige Membran verbunden, so dass sie dann nicht frei in der Flüssigkeit flottiren können.

Das Muskelende wird also auch hier von einer Sehnenkapsel umfasst; in die Furchen zwischen den Fransen passen die einzelnen Sehnenbündelchen genau hinein und werden in dieser Lage durch Verkittung mittelst des mehrfach besprochnen Leimes festgehalten.

Es gelingt leicht, die Sehnenhülse darzustellen, und zwar ohne Anwendung des Reagens. Man braucht nur die Sehne vom Muskel abzureissen, so bekommt man meistens, besonders aber an nicht mehr ganz frischen Muskeln, einzelne Sehnenhülsen, aus denen das Primitivbündel sich herausgelöst hat. Es mag dies mit dem bekannten leichten Zerfallen des letztern in Fibrillen zusammenhängen, womit natürlich ein Zerreissen des Sarkolemma Hand in Hand geht. Diese Sehnenhülse besteht aus fein wellig gestreiftem, in dicke, fahnenförmige Zipfel ausstrahlendem Bindegewebe, welches sich an dem Chitingerüst der Sehne inserirt und von diesem losgelöst wird, wenn man es mit Kalilösung behandelt. Deshalb gelingt es hier auch nicht, die Sehnenhülsen zugleich mit den aus ihnen losgelösten Muskelenden zu sehen. Das Chitingerüst der Sehne aber endet vor dem büschelförmigen Ausstrahlen seines Bindegewebsüberzuges und zwar in Form sehr dünner, ziemlich breiter, vorn meist schräg abgestutzter oder abgerundeter Platten. Vom Bindegewebe überzogen werden sie meist von der Kante gesehen und erscheinen so als dunkle, schmale Streifen. Das entgegengesetzte Ende der Primitivbündel des Kiefermuskels, d. h. also das Schalenende, welches Reichert ebenfalls für den Uebergang von Sarkolemma in Bindegewebe anführt, inserirt sich nicht direct an das Chitinskelet, sondern an die Schicht Bindegewebe, welche unter demselben liegt.

*) Wiener Sitzungsberichte, XXXIII. S. 146.

(Vergl. die Angaben von Baur „Ueber den Bau der Chitinsehne am Kiefer der Flusskrebse“ in Reich. Arch. 1860. S. 113.) Dieses Bindegewebe bildet eine ziemlich glatte Fläche, von welcher jedoch ganz kurze kronenartig gestellte Fäserchen senkrecht abgehen und sich an das Sarkolemma festheften. Hat man die Primitivbündel mit Kalilösung isolirt, so findet man regelmässig schräg abgestutzte Enden, deren untere Kante mit einer dichten Reihe ganz kurzer Fransen oder besser Wimpern endet (Fig. X). Zuweilen zeigt sie auch einen graden scharfen Contour, über welchem dann eine Reihe feiner, kurzer, verticaler Streifchen liegt (Fig. X. *a*), die Eindrücke der Bindegewebsfäserchen. Es wäre dies also eine Art der Anheftung, welche sich schon bedeutend der einfachen Verklebung mit einer Fläche nähert.

Bei den Spinnen beobachtete ich im Wesentlichen dieselben Verhältnisse. Es findet überall eine Verkittung des Muskelendes mit seiner Ansatzfläche statt, und zwar einmal die einfache Anlagerung eines spitzen, schräg abgestutzten oder rundlichen Endstücks an eine Fläche, dann aber auch die Umfassung des gefransten Endstücks von einer trichterförmigen Sehnenhülse. Ersteres ist bei den Muskeln des Rumpfs die Regel, Letzteres bei denen der Extremitäten.

Leydig macht in seiner Histologie darauf aufmerksam, dass man wie bei vielen Arthropoden, so besonders auch bei den Arachniden den Uebergang der Sehne („chitinisirte Bindesubstanz“) in den Sarkolemmaschlauch beobachten könne. Er bildet zwei Sehnenästchen von einer Milbe (Ixodes) ab (Fig. 72 S. 139), deren eines das zugehörige Primitivbündel trichterartig umfasst, während bei dem andern das Sarkolemma nicht weit über dem Sehnenansatz gerissen und die contractile Substanz herausgefallen ist, so dass es allerdings ganz den Anschein hat, als wäre das grobfaltige Sarkolemma die einfache Fortsetzung und weitere Entfaltung der feinfaserigen, auseinander weichenden Sehne. Eine Grenze zwischen Bindegewebsfasern und Sarkolemma ist auf der Zeichnung nicht angedeutet.

Man vergleiche damit die Zeichnung Fig. XI, welche ein Primitivbündel aus dem Oberschenkelstrecker einer Spinne (Theridium) darstellt, einfach mit Wasser benetzt. Das Bündel hängt an seinem feinen, dunkeln, das Licht stark brechenden, chitinisirten Sehnenstielchen, welches aus mehreren feinen Chitinreisern zusammengesetzt ist und diese gegen den Muskel hin mehr auseinander treten lässt, während sie zugleich beginnen sich ruthenförmig zu theilen. Ihre letzten Ausläufer

enden ungefähr in gleicher Höhe und umfassen das Primitivbündel in seinem ganzen Umfang. Zwischen den stark glänzenden Chitinreisern scheint leerer Raum zu sein; setzte man aber wässerige Jodlösung zu, so färbten sich diese Stellen gelb, ein Beweis, dass sie mit einer homogenen, zarten Membran ausgekleidet sind, welche wohl dem büschelförmigen Bindegewebe am Sehnenansatz des Kiefermuskels des Krebses in ihrer histologischen Bedeutung gleichgestellt werden muss. Das Sarkolemma ist nur an einer Stelle des Bündels (bei *d*) sichtbar, wo es sich vom contractilen Inhalt abgehoben hat; hier aber erkennt man deutlich, wie die Fasern des Sehnentrichters demselben äusserlich aufliegen und nicht ein Continuum mit ihm bilden. Solche instructive Bilder sind natürlich selten, indessen weist die Kalibehandlung auch an den andern dasselbe nach. Mittelst ihrer lösen sich nämlich die Primitivbündel aus ihren Hülsen los und zeigen die charakteristischen gefransten Enden.

Bei den Insekten wiederholen sich die nämlichen Verhältnisse. Die Enden der Primitivbündel ähneln denen des Frosches oft in erstaunlicher Weise. Die Thoraxmuskeln, die sich mit Kalilösung sehr leicht isoliren, zeigen sehr schön den einfachen Flächenansatz. Fig. XII. *B* stellt zwei Primitivbündel eines kleinen Schmetterlings in ihrer natürlichen Nebeneinanderlagerung dar, nur etwas auseinander gerückt, sie setzen sich an eine schräge Fläche an; um ihr scharf begrenztes unteres Ende lässt sich der doppelte Contour des Sarkolemma verfolgen. Fig. XII. *A* zeigt von demselben Schmetterling ein Muskelende mit muschligem Bruche, Fig. XII. *C* ein solches mit allmäliger Abplattung.

Bei den Raupen scheint der einfache Flächenansatz gar nicht vorzukommen. So bieten z. B. die langen, bandförmigen, an jedem Ring sich neu befestigenden Musculi recti dorsales oder ventrales nahezu dieselben Verhältnisse dar, wie der Bauchmuskel des Frosches. Die Primitivbündel haben stets die Länge eines Rings, reichen also von einer Sehneninsertion zur andern, wie dort von einer Inscriptio tendinea zur andern. Sie inseriren sich in quere, schmale Bindegewebsriffe, wo sie eingesenkt sind und, wenn auch unvollkommen, von einer Hülse umfasst werden. Löst man sie mit Kalilösung aus ihrem Ansatz los, so findet man die Enden niemals von einfachem Contour begrenzt, sondern stets zipflig, in grobe Fransen auslaufend, und zwar auf beiden Seiten.

Die Dipteren verhalten sich ebenso wie die Schmetterlinge. Vorzüglich schön sieht man bei ihnen die an langer

Chitinsehne befestigten Muskeln der Extremitäten. Jedes Primitivbündel sitzt in dem trichterförmigen Sehnenende, und löst sich aus demselben mittelst Kalilösung leicht los. Doch findet sich Fransenbildung hier seltner, um so häufiger aber sieht man den doppelten Contour des Sarkolemma. (Fig. XIV und XV).

Der grösseren Vollständigkeit halber erwähne ich noch die Käfer und Orthopteren, die ich gleichfalls einer nähern Untersuchung unterworfen habe. Fig. XVI stellt das abgeplattete und in grobe Fransen auslaufende Primitivbündel aus dem Oberschenkelstrecker einer Heuschrecke dar; Fig. XVII solche von einem Mistkäfer.

Bei den niedern Klassen der wirbellosen Thiere finde ich keine Gebilde mehr, welche den Namen eines Primitivbündels verdienten; man kann daher bei ihnen auch nicht mehr von einem Muskelansatz in dem Sinne wie bei den höhern Thieren reden. Die contractile Substanz ist bei Würmern, Mollusken und einem Theil der Radiaten in wirklichen, einkernigen Zellen eingeschlossen, welche in der Art ihrer Anordnung den „organischen Muskeln" der Wirbelthiere ganz nahe stehen. Sie liegen dachziegelförmig übereinander, verbunden, wie es scheint, durch dieselbe verkittende Substanz, welche auch bei den höhern Thieren, in animalischen wie organischen Muskeln in dieser Weise wirksam ist. Sie unterscheiden sich also vor Allem schon dadurch von eigentlichen Primitivbündeln, dass sich nicht wie bei diesen alle Enden nebeneinander inseriren, und die Fasern eines Muskels sämmtlich von einem bestimmten Insertionspunkt nach einem andern hinlaufen, sondern dass diese Zellen vielmehr Gewebslagen bilden, deren Mittelglieder die Endglieder meistens nicht erreichen.*)

---

*) Obgleich sich meine Untersuchungen nur auf eine geringe Anzahl von Thieren erstrecken, für jede Klasse nur wenige Repräsentanten, so war doch bei allen diesen die Muskulatur in so übereinstimmend gleicher Weise zusammengesetzt und zugleich so charakteristisch abweichend von der der höheren Thiere, dass der allgemeine Schluss, den ich daraus gezogen habe, nicht übereilt erscheinen kann. Gestützt wird er überdies durch mehrere einzelne Beobachtungen verschiedener Forscher, welche Kölliker kürzlich in einem Aufsatz über „die grosse Verbreitung contractiler Faserzellen bei den Wirbellosen" (Verh. d. phys. med. Gesellsch. zu Würzb. Bd. VIII. 189) zusammengestellt und durch eigene Zuthaten vermehrt hat. Kölliker zieht freilich einen ganz anderen Schluss aus diesen Thatsachen, wenn er die Frage aufwirft, „ob eine Trennung der Faserzellen von den Muskelfasern auch fernerhin gerechtfertigt ist", und also vermuthet, dass zwischen

Was hier noch zu erwähnen bleibt, ist das Verhalten der Muskelansätze bei den höhern Klassen der Wirbelthiere. Ich übergehe die Reptilien, indem bei ihnen der Ansatz der Muskeln ganz in derselben Weise stattfindet, wie bei den Amphibien. Die entsprechenden Verhältnisse bei den Vögeln und Säugethieren sind mir erst nach längerem Bemühen klar geworden. Es stellen sich hier der erspriesslichen Anwendung der Kalilösung mehrfache Hindernisse entgegen. Obgleich z. B. die Primitivbündel menschlicher Muskeln durch denselben Kitt verbunden werden, der die Muskeln der übrigen Thiere zusammen hält, so ist es mir doch bis jetzt noch niemals gelungen mittelst der Kalilauge längere Strecken zu isoliren, geschweige denn sie in ihrer ganzen Länge frei zu erhalten. Es hängt dies einerseits von der geringen Dicke der Bündel, der Zartheit ihres Sarkolemmas ab, welches schon auf leichte Zerrung hin reisst, hauptsächlich aber von den ausserordentlich reichlichen Bindegewebslagen, welche sowohl die Bündel in secundäre und tertiäre Gruppen eintheilen, als auch jedes einzelne mit einer dünnen Schicht umgeben (Perimysium internum). Dieses Bindegewebe wird durch die Kalilösung nicht gelöst; die Veränderung, die es erleidet, besteht darin, dass es in seine einzelnen Fibrillen zerlegt, dass also auch hier die Zwischensubstanz gelöst wird. Dies verhindert aber nicht, dass bei dem Versuch die Primitivbündel zu isoliren, die Bindegewebsfibrillen, in dichten Zügen um dieselben herumlaufend, sie einschnüren und Zerreissung veranlassen.

Bei Amphibien und Reptilien fehlt dieses Bindegewebe gänzlich, und nur die grösseren Gefässstämmchen und Nerven sind von einer dünnen Schicht desselben umhüllt. Bei den Vögeln ist es ebenso reichlich vorhanden, wie bei den Säugethieren. Trotzdem gelingt die Isolirung auch bei diesen letzteren, wenn man die Muskeln ganz frisch mit der Kalilauge behandelt. Sehr schön habe ich die Ansätze der Muskeln bei einem Igel beobachten können, ebenso bei einer Spitzmaus (Sorex vulgaris) und der gewöhnlichen Hausmaus.

---

den Primitivbündeln der höheren Thiere und den contractilen Zellen der niederen kein wesentlicher Unterschied bestehe. Genetisch, glaube ich, existirt allerdings kein Unterschied, indem beide Gebilde aus einer Zelle hervorgehen, allein in ihrer weiteren Entwickelung gehen beide so sehr auseinander, dass es mir nicht gerechtfertigt erscheint, sie zusammen zu werfen.

Bei diesen drei Thierarten entsprachen die Verhältnisse genau denen des Frosches. Auch hier war überall, wo die Fasern des Muskels winklig auf einer Fläche aufstanden, die Verbindung durch einfache Verkittung hergestellt, während überall da, wo die Fasern an eine zipflige Aponeurosenkante anstiessen, oder allgemeiner, wo die Richtung des Primitivbündels und des ihm zugehörigen Sehnenfascikels die gleiche war, die complicirtere Verbindung mittelst Einkittung in eine Sehnenhülse stattfand.

Fig. XVIII stellt ein Primitivbündel aus dem Gastrocnemius von Sorex vor. Es endet mit stumpfer Spitze, um welche sich deutlich der doppelte Contour des Sarkolemma fortsetzt. Fig. XIX. *A* und *B* sind Bündel aus der oberflächlichen Schicht desselben Muskels der Hausmaus. Sie zeigen an ihrem Ende die Eindrücke der Sehnenhülse, in welcher sie gesteckt haben. Fig. XX zeigt ein aus dem Flexor carpi ulnaris des Igels genommenes Bündel. Die contractile Substanz endet hier in freie Zipfel, zwischen welchen sich keine verbindende Membran mehr befindet. Bilder, wie dieses letzte, sind sehr geeignet zu zeigen, wie man früher zu der Annahme kommen konnte, die Fibrillen der contractilen Substanz gingen direct in Sehnenfasern über. Denkt man sich nämlich um dies vielzipflige Ende des Muskelbündels die Sehnenhülse herumgelegt, so schimmern die Zipfel der contractilen Substanz als Streifen durch das darüberliegende Sehnengewebe durch, und bringen so den Anschein eines directen Uebergangs hervor. Diese Ansicht wird jetzt von Niemand mehr vertheidigt, ebenso aber muss, wie ich glaube gezeigt zu haben, die Continuität der Sehne mit dem Sarkolemma aufgegeben werden und in Folge davon also auch die Auffassung des letzteren als Bindegewebe.

Erklärung der Abbildungen.

Fig. I. Die Enden von vier Primitivbündeln aus dem Flächenansatz des Gastrocnemius vom Frosch. Mit Kalilösung behandelt. Vergrösserung: 200.

Fig. II. Ein Primitivbündel aus demselben Muskel mit muschligem Bruch der Ansatzfläche. Man sieht an einzelnen Rändern das Sarkolemma als doppelten Contour.*) Vergrösserung: 350.

Fig. III. Aus demselben Muskel eines jungen Frosches. Man sieht sehr deutlich den doppelten Contour des Sarkolemma. Vergrösserung: 350.

Fig. IV. Aus dem Flächenansatz des Gastrocnemius eines ausgewachsenen Frosches. Schichtweise Abnahme der contractilen Substanz am Ansatzende, der untere Rand ist nur noch eine ganz dünne Platte, auf der aber noch deutlich feine Querstreifung zu sehen ist. Vergrösserung: 350.

Fig. V. Aus dem graden Ansatz des Gastrocnemius; das Primitivbündel ist aus seiner Sehnenhülse herausgezogen, bei *a* hat sich das Sarkolemma vom Inhalt abgehoben. Vergrösserung: 350.

Fig. VI. Aus dem graden Ansatz des Gastrocnemius. *A.* Das Primitivbündel steckt noch in seiner Sehnenhülse, bei *b* sieht man die quere Linie der Endigungen der Sehnenfasern, bei *a* die stumpf kegelförmige Spitze des Primitivbündels. *B.* Stellt dieselbe Faser vor, nachdem sie durch Hin- und Herbewegen aus ihrer Hülse herausgetreten ist. *a* die Hülse. Auf dem Muskelbündel, welches sich beim Austritt um seine Achse gedreht hat, sieht man bei *b* den Kranz flacher Impressionen, die Abdrücke der Fasern der Hülse. Vergrösserung: 350.

Fig. VII. *A.* Aus dem Ansatz des Brustmuskels an's Sternum (Frosch). Die contractile Substanz bildet fransenartige Streifen, zwischen welchen aber das Sarkolemma noch vollständig sich erhalten hat. Der feine Endcontour, *a*, wird sogar fast allein von ihm gebildet. *B* und *C*. Ebendaher, auch hier sieht man zwischen den Fransen noch eine zarte Membran wie eine Schwimmhaut ausgespannt. Bei *C* sind zwei Enden vorhanden, ausser dem grossen *a* noch ein kleines, höher gelegenes *b*. *D.* Ist ein Bündel aus den Vorderarmmuskeln mit gefranstem Ende. Bei *a* scheinen die Fransen frei; man sieht die Querstreifung in ihnen bis zur Spitze; *b* oberflächliche Kernreihen.

Fig. VIII. Dickes Primitivbündel aus dem Gastrocnemius, Flächenansatz; das Bündel verdünnt sich rasch und endet in eine dünne Membran, die jedoch noch contractile Substanz in feiner Lage enthält, wie die stellenweise Querstreifung andeutet. Vergrösserung: 350.

---

*) Wo es nicht ausdrücklich anders angegeben ist, war das Präparat mittelst Kalilösung hergestellt.

Fig. IX. Das Sehnenende eines Primitivbündels aus dem Kiefermuskel des Krebses, aus seiner Sehnenhülse durch Kali gelöst. Es endet in mehrere kegelförmige Spitzen *a a a*, deren jede wieder in feinere Fransen ausläuft. *b b* Kerne.

Fig. X. Das an die Schale sich ansetzende Ende eines Primitivbündels aus demselben Muskel des Krebses. Bei *a* scharfer Endcontour, und darüber eine Reihe kurzer feiner Sehnenfaserabdrücke, bei *b* wirkliche Fransenbildung, doch waren die Fransen auch hier noch durch eine zarte Membran verbunden, die man zwar nicht sah, aber aus der mangelhaften Beweglichkeit der Fransen mit Sicherheit erschliessen konnte. Vergrösserung: 350.

Fig. XI. Ein Primitivbündel aus dem Oberschenkelstrecker einer Spinne (Theridium). *A.* Ohne Reagens, nur mit Wasser behandelt. *a* der Stiel der Chitinsehne; bei *c* trichterförmige Ausbreitung der Chitinreiser, verbunden durch eine klare, nicht sichtbare Membran. Bei *d* hat sich das Sarkolemma vom contractilen Inhalt abgehoben und bei *e* sieht man, wie die Endfasern der Sehnenhülse auf demselben aufliegen, nicht aber ein Continuum mit ihm bilden. *B.* Ein solches Primitivbündel durch Behandlung mit Kalilösung aus seiner Hülse entfernt.

Fig. XII. Aus den Brustmuskeln von Noctua Brassicae. *A.* Muskelende, dessen Ende zwei grosse Einbuchtungen zeigt, herrührend von Unebenheiten der Ansatzfläche. *B.* Zwei Primitivbündel mit schräg abgestutzten Enden, in ihrer natürlichen Aneinanderlagerung, nur etwas auseinandergerückt. Um die Ansatzfläche *a a* sieht man den doppelten Contour des Sarkolemma herumlaufen. *C.* Primitivbündel mit starker Abplattung des Endes. Auf der Oberfläche die Eindrücke der Tracheenverzweigungen. Vergrösserung: 350.

Fig. XIII. Aus dem Muscul. rect. dors. einer jungen Raupe von Smerinthus ocellatus. Drei Primitivbündel, welche theilweise noch zusammenhängen. *a a* Kernreihen von sehr grossen Kernen, während die einzeln stehenden Kerne *b b* sehr klein sind (verhältnissmässig). *c* die gefransten Enden. Vergrösserung: 200.

Fig. XIV. Aus den Extremitätenmuskeln der Stubenfliege. *A.* Ohne Reagens nur mit Wasser behandelt. Die Sehne scheint continuirlich in das Sarkolemma überzugehen. *B.* Ein Primitivbündel mittelst Kalilauge aus seiner Sehnenhülse gelöst. Um das Ende *a* sieht man das Sarkolemma als doppelten Contour. *C.* Stellt einen Sehnentrichter vor, in welchem noch das abgerissene Ende des Primitivbündels steckt; die Grenze der Sehnenzipfel ist hier ziemlich scharf zu sehen (nur mit Wasser behandelt). *D.* Ein Primitivbündel mit spitzer Endigung und *E* ein solches mit spitzer und grader.

Fig. XV. Aus den Thoraxmuskeln der Stubenfliege. *A.* Theilweise gefranstes Ende. *B. C. D.* Verschieden geformte Enden. *E.* Ist das andere Ende der Faser A, mit der langen Ansatzfläche *a a a*. Vergrösserung: 350.

Fig. XVI. Primitivbündel aus den Schenkelmuskeln einer Heuschrecke (Acridium). *a* das gefranste und sehr verdünnte Ende, *b b* Kerne. Vergrösserung: 350.

Fig. XVII. Aus den Oberschenkelmuskeln von Scarabaeus stercorarius. *A.* Rundliches Ende mit doppeltem Contur des Sarkolemmas. *B.* Sehnenende aus der Hülse entfernt; feine streifige Eindrücke der Sehnenfasern bei *a*.

Fig. XVIII. Aus dem Gastrocnemius der Spitzmaus (Sorex vulgaris). Flächenansatz.

Fig. XIX. *A.* Ein Primitivbündel aus dem Gastrocnemius der Hausmaus; grader Ansatz mit unvollkommener Fransenbildung; *B.* Ein solches mit Bildung von freien Fransen; zugleich sind die Abdrücke der umspinnenden Capillargefässe auf der Oberfläche mitgezeichnet. Der Focus ist auf die Oberfläche eingestellt, der doppelte Contour der Impressionen rührt nicht sowohl von der zurückgebliebenen Wand der Capillaren her, als von dem an diesen Rändern sich umschlagenden Sarkolemma; die Capillaren selbst sind vollständig entfernt. Vergrösserung: 350.

Fig. XX. Ein Primitivbündel aus dem Flexor carpi ulnaris des Igels. Grader Ansatz. Das Bündel endet in ziemlich grobe Zipfel. Vergrösserung: 350.

Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.

Von

Dr. **Wilhelm Wundt.**

Vierte Abhandlung.

Ueber das Sehen mit zwei Augen.

Die Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen zerfallen in die Lösung einer physikalischen und psychologischen Aufgabe. Die physikalische Aufgabe hat die Frage zu beantworten: welches ist bei gegebener Lage der äusseren Objekte das räumliche Lageverhältniss der Netzhautbilder in beiden Augen? Die psychologische Aufgabe hat dann die Frage aufzunehmen: wie bildet die Seele bei gegebenem räumlichem Lageverhältniss der Netzhautbilder die binokulare Gesichtswahrnehmung?

Die erste dieser Aufgaben hat auszugehen von der Untersuchung der combinirten Augenstellungen, und hat dann zu untersuchen, wie sich bei bestimmter Augenstellung die beiden Netzhautbilder eines Punktes von bekannter Lage zu einander verhalten. Die zweite Aufgabe hat zu untersuchen, wie die binokulare Gesichtswahrnehmung sich verhält, wenn sich in bekannter Weise durch die Lageänderung des äusseren Punktes die Lage der Netzhautbilder verändert.

Der zweite und dritte Abschnitt der folgenden Untersuchungen beschäftigt sich mit der Lösung der physikalischen Aufgabe, nämlich mit der Untersuchung der combinirten Augenbewegungen und des räumlichen Lageverhältnisses der Netzhautbilder. Der Erörterung der combinirten Augenbewegungen ist im ersten Abschnitt die besondere Untersuchung der Convergenzbewegungen und ihres Einflusses auf die Tiefenwahrnehmung vorangestellt. Der vierte Abschnitt der folgenden Untersuchungen hat sich mit der Lösung der psycholo-

gischen Aufgabe zu beschäftigen, es wird in demselben gezeigt werden, wie aus der Verschiedenheit der Netzhautbilder sich die binokulare Tiefenwahrnehmung entwickelt. Einige Untersuchungen über den binokularen Contrast und über den Wettstreit binokularer Wahrnehmungen, welche die hier erhaltenen Resultate vollständiger begründen sollen, werden den Gegenstand der folgenden Abhandlung bilden.

---

1. Ueber den Einfluss der Convergenz der Sehaxen auf die räumliche Tiefenwahrnehmung.

Schon Cartesius hat behauptet, wir benützten zur Erkenntniss der Entfernungen ausser der Formänderung des Auges bei der Accommodation den Convergenzwinkel der beiden Augenaxen, aus dem wir durch eine Art natürlicher Geometrie auf die Distanz des gesehenen Gegenstandes zu schliessen vermöchten.*) Seitdem ist der Convergenzwinkel der Sehaxen von den meisten Schriftstellern über diesen Gegenstand bald als Haupt- bald als Nebenmoment der Entfernungsschätzung aufgeführt worden. J. Müller zeigte zwar, dass nicht unmittelbar von einer Proportionalität zwischen der Nähe des Gegenstandes und der Convergenz der Sehaxen gesprochen werden könne, da diese nur für Gegenstände richtig ist, die gerade vor uns, gleich weit von beiden Augen entfernt gelegen sind, nicht aber für seitliche Gegenstände, deren Convergenzwinkel um so kleiner wird, je weiter sie sich aus der Mittelebene beider Augen entfernen. Müller nahm deshalb an, die Convergenz der Sehaxen sei nur so lange auf die Entfernungsbestimmung von Einfluss, als sich die fixirten Gegenstände in jener Mittelebene befänden. Volkmann hat hiergegen bemerkt, dass übrigens offenbar auch hier die Proportionalität zwischen Convergenz der Sehaxen und Nähe des Gegenstandes nicht aufgehoben sei, sobald nur immer die seitliche Verschiebung des Gegenstandes constant bleibe.**) Aber die ganze Schwierigkeit dieser Sache verschwindet, wenn man erwägt, dass in dem Convergenzwinkel an sich keinerlei Entfernungsbestimmung enthalten sein kann, und dass anderweitige Verhältnisse bestehen müssen, die uns den Convergenzgrad unserer Sehaxen erst bewusst werden lassen. Würde uns also z. B. im Muskelgefühl ein Mass für die Convergenz

*) Oeuvres. T. V. Dioptrique. p. 61.
**) Art. Sehen. Wagner's physiol. Handwörterbuch. III. 1. S. 347.

unserer Sehaxen gegeben sein, so wäre es undenkbar, dass wir durch dieses Mass lediglich nur die Grösse des Convergenzwinkels sollten bestimmen können, ohne zugleich Aufschluss zu erhalten über die mehr oder weniger seitliche Lage des fixirten Gegenstandes, das Muskelgefühl würde uns für diese seitliche Verschiebung ebenso gut ein Mass abgeben müssen wie für die geradlinige Entfernung, da dasselbe bei zwei gleichen Convergenzwinkeln, von denen der eine einem in der Mittelebene beider Augen gelegenen ferneren Gegenstande, der andere einem seitlich gelegenen näheren Gegenstande entspricht, nothwendig ganz verschieden ist, weil bei beiden Bewegungen der Contractionsumfang der betheiligten Muskeln sich unterscheidet, und weil zum Theil sogar beide Male ganz verschiedene Muskeln in Wirksamkeit treten. So würde z. B. der Fixation eines in grosser Ferne in der Mittelebene und im Horizont befindlichen Punktes eine sehr schwache und gleichmässige Contraction beider Recti interni entsprechen, der Fixation eines unter dem gleichen Convergenzwinkel nahe und stark seitlich gesehenen Gegenstandes würde eine starke Contraction des Rectus internus der entgegengesetzten Seite entsprechen, auf der dem Gegenstand zugekehrteu Seite würde aber der Rectus internus gar nicht, dagegen der Rectus externus schwach contrahirt sein. Es ist klar, dass in beiden Fällen das resultirende Muskelgefühl völlig verschieden sein muss, und dass ferner, wenn wir, wie sich zeigen wird, im Stande sind dieses Muskelgefühl in seine einzelnen Componenten aufzulösen, wir in demselben nicht blos ein Mass für die Entfernung, sondern überhaupt ein Mass für die Lage der Gegenstände in ihrer Beziehung zu uns selber besitzen. Wenn wir daher von dem Einfluss der Convergenz der Sehaxen auf die Entfernungsbestimmung reden, so müssen wir von vornherein bemerken, dass dies streng genommen ein ungenauer Ausdruck ist, der aber eine gewisse historische Berechtigung hat, weil viele Untersuchungen in der Tendenz angestellt worden sind, einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen Convergenz und Entfernungsschätzung nachzuweisen.

Den Einfluss des Muskelgefühls bei der Bestimmung der Lage der Gegenstände aus dem Convergenzwinkel hat zuerst Hueck*) darzuthun versucht. Er nahm an, wir hätten uns durch Uebung und Gewöhnung vermittelst der Muskelgefühle unserer inneren und äusseren Augenmuskeln die Kenntniss der Stellung unserer Augenaxen und in Folge dessen auch

*) Müller's Archiv, 1840. S. 76.

der Lage des fixirten Objektes erworben. Hueck stützte sich dabei besonders auf einige pathologische Beobachtungen, wo bei durch Verletzung entstandener abnormer Stellung beider Sehaxen sich das Urtheil über die Entfernung der Gegenstände in auffallender Weise geändert hatte.*) In der That lassen diese Beobachtungen nur eine Deutung zu, wenn man annimmt, dass das Bewusstsein der Stellung unserer Sehaxen uns erst durch das Muskelgefühl vermittelt wird. Es sind diese pathologischen Fälle offenbar nichts anderes als Störungen in den gewohnten Beziehungen des Bewegungsgefühls unserer Augenmuskeln zu der Stellung unserer Augen, wie solche Störungen eintreten müssen entweder bei unvollkommenen Lähmungszuständen oder bei Dislocirungen eines oder beider Augen, wenn in diesen Fällen ein combinirtes Sehen noch möglich ist und nicht, wie gewöhnlich, das eine Auge ausser Thätigkeit tritt. Es entsprechen also diese Fälle ganz und gar den Beobachtungen von Graefe's über seitliche Versetzung des Sehfeldes bei der Parese des Abducens, die wir früher erörtert haben.**)

H. Meyer hat die Folgerungen, die aus den angeführten pathologischen Beobachtungen gezogen werden mussten, durch physiologische Versuche bestätigt, indem er zuerst direct nachwies, dass die scheinbare Entfernung der Gegenstände mit der wechselnden Convergenz der Sehaxen sich ändert; und zugleich zeigte er, dass die scheinbare Grösse der Gegenstände zur Bestimmung ihrer Entfernung in unmittelbarer Beziehung steht, indem die erstere mit der letzteren im umgekehrten Verhältnisse sich ändert. Man befestige einen in gleichen Zwischenräumen mit congruenten Figuren, z. B. Oblaten, bedeckten Papierbogen an die Wand und betrachte denselben

---

*) Besonders augenfällig ist der von Fleischmann mitgetheilte Fall (in Hufeland's Journal für prakt. Heilkunde. 1838. S. 88), den Hueck näher erörtert. Bei einem gesunden Manne hatte sich in Folge einer Contusion eine solche Stellungsänderung des linken Auges ausgebildet, dass die Sehaxe desselben nach Innen und Oben abwich. Bei geschlossenem linkem Auge verhielt sich das Sehen normal; sobald aber das linke Auge geöffnet wurde, entstand zuerst Doppeltsehen, und dann entschwebten plötzlich die Gegenstände, so dass ihre Entfernung auf das fünf- bis achtfache des Wirklichen geschätzt wurde. In geringerem Grade trat diese Gesichtstäuschung auch ein, wenn das rechte Auge zugehalten wurde. — Das Fernsehen kann in diesem Fall nur als eine durch das Muskelgefühl bedingte Täuschung erklärt werden, indem der Rectus externus des linken Auges mit abnormer Energie sich contrahiren musste, um mit dem rechten Auge zusammen einen bestimmten Convergenzzustand herbeizuführen, und dadurch entstand nothwendig eine falsche Schätzung des Convergenzwinkels.

**) S. Abh. III. 4. Graefe, Archiv f. Ophthalm. I. 1. S. 18.

aus angemessener Entfernung; man verschaffe sich dann Doppelbilder dadurch, dass man einen hinter dem Bogen gedachten Punkt fixirt, bringt man nun diese Doppelbilder so zur Vereinigung, dass immer das rechte Bild der einen Figur und das linke Bild der zunächst nach rechts von ihr liegenden zusammenfallen, so erscheinen die so vereinigten Figuren ferne gerückt und vergrössert. Das Umgekehrte tritt ein, wenn man rechtseitige Doppelbilder hervorbringt und entsprechend vereinigt, durch Fixirung eines vor dem Bogen gelegenen Punktes: die Figuren erscheinen näher gerückt und verkleinert.*) Ueber die scheinbare Grössenänderung der Gegenstände bei verändertem Convergenzwinkel hat Meyer später mittelst des Wheatstone'schen Spiegelstereoskops genauere Messungen angestellt, aus welchen geschlossen werden kann, dass, wenn wirkliche Entfernung und Grösse des Bildes gleich bleiben, die scheinbare Grösse ungefähr in dem Masse abnimmt als der Convergenzwinkel wächst.**)

Es wurde oben bereits bemerkt, dass die pathologischen Erfahrungen über eintretende Entfernungstäuschungen bei Dislocirung eines oder beider Augen es schon in hohem Grade wahrscheinlich machen, dass unser Urtheil über die Entfernung der Gegenstände bei binokularem Sehen direct durch die bei den Convergenzbewegungen eintretenden Muskelgefühle geleitet wird, welcher Schluss in den eben angeführten physiologischen Versuchen eine Bekräftigung findet. Die letzteren sind zugleich geeignet, eine andere Ansicht zurückzuweisen, die man sich von jenem Vorgang häufig gebildet hat, nämlich die, dass uns die Augenstellung nur auf indirectem Wege, durch ihren Zusammenhang mit einem bestimmten Accommodationsgrad, über die Entfernung des binokular fixirten Objektes Aufschlusss verschaffe. Die Ansicht, dass Augenstellung und Refractionszustand der Augen in einem unmittelbaren organischen Zusammenhang mit einander ständen, ist bekanntlich von J. Müller ausgesprochen worden.***) Er stützte sich dabei auf die einfachsten Beobachtungen, die uns zeigen, dass, wenn wir nach einem fixirenden Blick in die Ferne plötzlich einen nahen Gegenstand fixiren, wir diesen nicht einfach sehen können, ohne ihn deutlich zu sehen, und nicht undeutlich, ohne ihn doppelt zu sehen. Er schloss hieraus, dass die Thätigkeit der innern geraden Augenmuskeln innig an die

*) Archiv für physiolog. Heilkunde. Bd. I. S. 316. 1842.
**) Poggendorff's Annalen. Bd. 85. S. 198.
***) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. S. 207 u. f.

Adaption für die Nähe gebunden sei, und er glaubte den organischen Grund dieses Zusammenhangs darin finden zu müssen, dass die Ciliarnerven theilweise aus dem Nervus oculomotorius ihre Wurzeln bezögen, der die Contraction der innern geraden Augenmuskeln beherrscht. Dagegen führten andere Beobachtungen Volkmann*) zu dem Resultat, dass zwar allerdings zwischen Sehaxenstellung und Accommodation ein gewisser Zusammenhang vorhanden sei, dass aber dieser Zusammenhang keineswegs als begründet in einem bestimmten organischen Mechanismus, sondern nur als die Folge von Uebung und Gewöhnung betrachtet werden dürfe. Volkmann zeigte, dass die Angabe Müller's, man könne nur deutlich sehen was man einfach sehe, keineswegs eine strenge Gültigkeit habe, sondern dass immer, wenn man mit dem einen Auge ein Objekt fixirt, so dass es vollkommen deutlich erscheint, während das zweite Auge verdeckt ist, und man dann das zweite Auge frei macht, das Objekt anfänglich im Doppelbilde erscheint und erst durch eine Correction der Augenstellung vereinigt wird. Diese Beobachtung hatte Müller schon für grössere Entfernungen der Objekte, in denen die Accommodation nicht mehr wirksam ist, gemacht (a. a. O. S. 215), aber man kann sich leicht überzeugen, dass sie auch innerhalb der Accommodationsgrenzen ihre Gültigkeit hat. Volkmann hat ferner noch eine andere Thatsache angegeben, welche gleichfalls die Annahme eines unmittelbaren organischen Zusammenhangs zwischen Accommodation und Augenstellung unwahrscheinlich macht, wenn sie dieselbe auch nicht geradezu widerlegt: dies ist die grosse Langsamkeit der Accommodationsbewegungen im Vergleich mit den sehr schnellen Drehungen des Augapfels. Nach Volkmann's Messungen nimmt eine Accommodationsbewegung ungefähr die Dauer von 90 Tertien in Anspruch, während das Auge zu einer Winkelbewegung von 10^0 nur 30 Tertien nöthig hat. Wenn die Geschwindigkeit beider Vorgänge so verschieden ist, so können unmöglich in jedem Augenblick Sehaxenstellung und Accommodationszustand sich correspondiren, sondern der letztere kann immer erst nach einer gewissen Zeit sich der ersteren angepasst haben.

In neuerer Zeit ist die Lehre von dem Zusammenhang zwischen Sehaxenstellung und Accommodation namentlich von Donders ausgebildet und für praktische Zwecke verwerthet

*) Art. Sehen. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie. III. 1. S. 308.

worden.*) Für praktische Zwecke kann dieser Zusammenhang allerdings als eine streng gültige Regel angesehen werden, weil unter gewöhnlichen Verhältnissen die Ausnahmen sehr unbedeutend sind und nicht bemerkt werden. Ganz anders verhält sich aber die Sache, wenn es sich um die physiologische Aufklärung jenes Zusammenhangs handelt. In dieser Hinsicht hat Donders selbst zugegeben, dass die Abhängigkeit des Accommodationszustandes vom Convergenzwinkel der Sehaxen keineswegs als eine absolute zu betrachten sei, sondern dass unter Umständen die Accommodation sich auch unabhängig verändern könne. Donders wies nach, dass der Zusammenhang zwischen Sehaxenstellung und Accommodation nicht ein solcher ist, wie man ihn früher statuirt hatte, dass nämlich nicht jeder Sehaxenstellung ein ganz bestimmter Accommodationsgrad entspricht, sondern dass nur für jeden Convergenzwinkel eine bestimmte Accommodationsbreite vorhanden ist. Mit der Veränderung der Convergenz verändern sich also Fernpunkt und Nahpunkt, aber es bleibt immer bei constant bleibender Sehaxenstellung ein gewisser Spielraum der Accommodation möglich. Bei Verringerung der Convergenz rücken Fernpunkt und Nahpunkt weiter, bei Vergrösserung derselben rücken sie näher, ohne dass übrigens die Veränderungen des Nahpunktes denen des Fernpunktes unmittelbar correspondiren, und ohne dass irgend ein einfaches Verhältniss zwischen Accommodationsänderung und Convergenzänderung besteht.**)

Es ist leicht einzusehen, dass diese Thatsachen keineswegs unvereinbar sind mit der Annahme, dass Sehaxenstellung und Accommodation erst durch Uebung und Gewöhnung sich associirt haben, insbesondere wenn man erwägt, dass die einer bestimmten Sehaxenstellung entsprechende Accommodationsbreite nicht unveränderlich ist, sondern dass dieselbe durch fortgesetzte Uebung erweitert werden kann, indem der Fernpunkt noch etwas weiter rückt und der Nahpunkt sich etwas nähert. Jeder, der längere Zeit physiologische Versuche anstellt, bei denen er seine Augen Objekten zu accommodiren sucht, die

*) Donders, Nederlandsch Tijdschrift voer Geneeskunde. 1857. — Graefe's Archiv f. Ophthalmologie. Bd. VI. — Mac Gillavry, Dissert. Utrecht 1858.

**) Zum Theil sind diese Thatsachen schon früher von H. Meyer ermittelt worden, Henle's und Pfeufer's Zeitschr. f. rat. Med. Bd. V. 1846. S. 388, aber erst Donders hat durch genaue Messungen der Accomodationsbreite diesen für die praktische Ophthalmologie so wichtigen Gegenstand zu hinreichender Klarheit gebracht.

nicht im Convergenzpunkt der Sehaxen gelegen sind, kann leicht diese Wahrnehmung machen. Aber es ist im Grunde damit, dass man beide Vorgänge durch Gewöhnung und Uebung associirt nennt, nicht viel gewonnen, wenn man nicht näher bestimmt, auf welche Weise in diesem Fall Uebung und Gewöhnung wirksam sind, und dies ist bisher noch nirgends geschehen.

Es versteht sich von selbst, dass von einer absichtlichen Uebung hier nicht die Rede sein kann, sondern es kann unter Uebung und Gewöhnung nur eine solche Association der beiden ursprünglich von einander unabhängigen Bewegungen verstanden werden, wie sie nicht durch einen primären organischen Zusammenhang, sondern durch secundäre Momente entsteht, welche die Möglichkeit der Lösung jener Association schon in sich tragen. Wir würden also ein derartiges Zusammengehen von Convergenz- und Accommodationsgraden ein durch Uebung und Gewöhnung erworbenes nennen, wenn unter gewöhnlichen Verhältnissen dasselbe äussere Motiv, das einen bestimmten Convergenzgrad hervorruft, auch den correspondirenden Accommodationsgrad veranlassen müsste, so dass, nach öfterer Wiederholung dieser Vorgänge, sich der letztere dem ersteren zugesellte, auch ohne dass eine von Aussen einwirkende Nöthigung vorhanden wäre. Der Convergenzgrad würde hier durch fortgesetzte Gewöhnung an die Stelle des äusseren Motivs treten, das anfänglich ihn ebenso wie den Accommodationsgrad beherrschte. Es ist aber klar, dass hierbei von einer Uebung im gewöhnlichen Sinne, insofern darunter ein bewusster und willkürlicher Vorgang verstanden wird, nicht die Rede sein kann, sondern dass ein ganz unbewusster Process vorliegt, der aber in der Art seines Verlaufs und in seinem Erfolg mit dem was man Uebung nennt vollständig zusammenfällt.*)

Ich habe nun ein derartiges Bewegungsmotiv, das für die Accommodations- und Convergenzveränderungen gemeinsam ist, in der vorigen Abhandlung (Nr. 2 und 4) bereits besprochen. Es wurde dort nachgewiesen, dass die Accommodationsbewegungen geleitet werden durch gewisse dominirende Punkte und Linien im Sehfeld, dass vermöge eines bestimmten Reflexmechanismus das Auge, wenn nicht andere Verhältnisse störend einwirken, mit Nothwendigkeit der Entfernung jener dominirenden Punkte

*) Ich kann nicht umhin bei dieser Gelegenheit zu bemerken, dass übrigens die meisten Uebungsvorgänge, und gerade die für die Entwicklung der Seele bedeutsamsten, in ähnlicher Weise unbewusster Natur sind.

und Linien sich anpasst. Es wurde weiterhin nachgewiesen, dass eine ähnliche Art von Reflexmechanismus besteht zwischen dem Punkt des deutlichsten Sehens und der Bewegung des Auges, dass jeder von der sonst gleichmässigen Sehfeldfläche abstehende Punkt unser Auge zwingt die Sehaxe so einzustellen, dass das Bild des Punktes auf die Stelle des deutlichsten Sehens fällt. Beim binokularen Sehen gilt dieser Zwang für beide Augen, und es resultirt daraus der der Entfernung des Punktes entsprechende Convergenzgrad. So kommt es denn, dass mittelbar Accommodation und Convergenz mit einander in Zusammenhang treten, indem bald in Folge der Angewöhnung die erstere nach der letzteren sich richtet, auch wenn das äussere gemeinsame Motiv, der für beide zugleich bestimmende dominirende Punkt, nicht mehr vorhanden ist.

Hierbei ist nun das Verhältniss stets ein solches, dass die Accommodation nach dem Convergenzgrad sich richtet, niemals aber umgekehrt der Convergenzgrad nach der Accommodation. Der Grund hierfür ist offenbar der, dass die Convergenzbewegungen in unmittelbarer Weise von der Willkür abhängig sind, während wir die Accommodation erst mittelbar zu beherrschen lernen können, theils dadurch, dass wir uns einen Gegenstand in der bestimmten Entfernung vorstellen, theils aber auch eben dadurch, dass wir den bestimmten Convergenzgrad hervorrufen. Die Convergenzbewegungen emancipiren sich also von dem Reflexmechanismus, der auch sie ursprünglich allein leitet, in weit vollkommenerer Weise als die Accommodationsbewegungen, die niemals im eigentlichen Sinne willkürlich werden.

Es ist nun ferner leicht erklärlich, dass der so ausgebildete Zusammenhang zwischen der Accommodation und der Sehaxenstellung nicht ein solcher ist, dass einem bestimmten Convergenzgrad gerade ein bestimmter Accommodationsgrad entspricht, sondern dass für jeden Convergenzgrad noch eine gewisse Breite der Accomodation frei bleibt. Zunächst ist unser Auge ja, abgesehen von dem Ruhezustand des Accomodationsapparates, streng genommen zwar immer nur für eine einzige Entfernung accommodirt, aber die Empfindungsschärfe unserer Retina ist nicht so gross, dass wir die kleinsten Zerstreuungskreise noch wahrzunehmen vermöchten. Es ist uns also von vornherein immer innerhalb einer gewissen freilich sehr engen Grenze eine beliebige Accommodationsbreite statt eines bestimmten Anpassungsgrades gegeben. Diese Accommodationsbreite erweitern wir nun aber leicht sehr weit über diese Grenze, wenn Ursachen einwirken, die jenen erworbenen Zusammenhang

wieder einigermassen zu lösen im Stande sind, wie z. B. absichtliche Uebung.

Man kann sich von dem Grade, in welchem die Lösung des Zusammenhangs zwischen Sehaxenstellung und Accommodation möglich ist, am leichtesten überzeugen, wenn man zwei Zeichnungen durch Schielen zu einem stereoskopischen Bilde vereinigt. Hier bleiben fortwährend beide Augen auf die Entfernung der Zeichnungen eingerichtet, während die Convergenz der Sehaxen einer ganz andern und oft sehr erheblich verschiedenen Entfernung entspricht. Aber gerade in diesem Fall ist das Auseinandergehen beider Bewegungen aus unserm obigen Princip leicht abzuleiten. Wenn die Sehaxen diejenige Stellung angenommen haben, bei welcher die Zeichnungen stereoskopisch vereinigt werden, so ist vermöge des Einflusses der dominirenden Linien ein gewisser Zwang vorhanden, durch den sie in dieser Stellung verbleiben. Ebenso ist für das Auge durch jene Linien die Nöthigung zu einem bestimmten Accommodationszustand gegeben, der aber von dem Accommodationsgrad verschieden ist, welcher unter gewöhnlichen Verhältnissen der vorhandenen Sehaxenstellung zukommt.

Ist es somit als nachgewiesen zu betrachten, dass der Zusammenhang zwischen Accommodation und Convergenz der Sehaxen erst ein erworbener ist, der unter Umständen wieder gelöst werden kann, so kann auch kaum mehr die Rede davon sein, das Urtheil über die Entfernung der Objekte, das, wie sich leicht nachweisen lässt, von den Convergenzbewegungen unserer Augen in hohem Grad abhängig ist, nicht unmittelbar in diesen Bewegungen selber, sondern in den sie begleitenden Accommodationsveränderungen zu suchen, wie dies von Manchen geschehen ist.*) Wir verlegen bei Betrachtung zweier stereoskopischer Zeichnungen das durch die Vereinigung erhaltene Object, wenn nicht der Convergenzwinkel sehr klein ist, ungefähr in den Convergenzpunkt der Sehaxen und also entweder weiter oder näher als die Entfernung beträgt, auf die wir accommodirt sind. Es giebt aber einige Thatsachen und Versuche, die das Nämliche noch directer beweisen.

Würde nur die Accommodation unser Urtheil über die Entfernungen leiten, so könnte zwischen binokularem und monokularem Sehen in dieser Hinsicht kein Unterschied sein. Sobald nicht die stereoskopischen Erscheinungen in Rücksicht fielen, würde unser Urtheil über die räumliche Tiefenausdehnung beim Sehen mit einem und mit zwei Augen sich nicht unter-

*) S. Moser, Art. Auge. Repertorium der Physik. Bd. V. S. 393.

scheiden. Man kann sich aber leicht überzeugen, dass sich dies anders verhält, und dass auch, wo die stereoskopischen Erscheinungen nicht in Rücksicht fallen, unser Urtheil über Entfernungen und räumliche Verhältnisse beim Sehen mit zwei Augen ein wesentlich vollkommneres ist. Dove hat einige Beobachtungen mitgetheilt, die dies sehr deutlich zur Anschauung bringen. Das von einem ebenen Spiegel entworfene Bild scheint binokular betrachtet so weit hinter dem Spiegel zu liegen, als der Gegenstand vor demselben befindlich ist. Betrachtet man nun sein eigenes Bild im Spiegel zuerst binokular, und schliesst man dann das eine Auge, so scheint nach einiger Zeit der Spiegel so weit zurückzuweichen, dass der Rand desselben das Spiegelbild als Rahmen umfasst. Ebenso wird das Bild, welches ein Hohlspiegel entwirft, nur dann vor demselben liegend gesehen, wenn es mit beiden Augen betrachtet wird, nicht aber bei monokularem Sehen. Derselbe Unterschied findet sich endlich bei der Betrachtung von Gegenständen durch ein dickes Planglas. Legt man ein solches auf eine Zeichnung, so erscheint diese bei binokularer Betrachtung näher gerückt, bei monokularer Betrachtung verschwindet aber die Hebung fast gänzlich. Das Aehnliche beobachtet man auch bei der Hebung in Folge der Brechung durch Prismen und Kalkspathrhomboeder*).

Sehr instructiv für diese Verhältnisse habe ich ferner folgenden Versuch gefunden. Ich zeichne zwei Quadrate oder Kreise und bringe dieselben neben einander in beträchtlich verschiedene Entfernung. Nun schiebe ich beide Bilder über einander dadurch, dass ich auf einen vor oder hinter ihnen gelegenen Punkt die Sehaxen einstelle, dabei werden Grösse und Entfernung der Zeichnungen so gewählt, dass sie sich nicht vollständig decken, sondern dass entweder die eine in der andern liegt oder nur mit einer Seite sie berührt. Anfänglich sieht man nun die eine Figur, diejenige, auf die sich die Aufmerksamkeit weniger richtet, mit Zerstreuungskreisen; bemüht man sich aber beide Figuren als eine Zeichnung zu sehen, so verschwinden diese Zerstreuungskreise, und man sieht das vereinigte Bild vollkommen deutlich. Man bemerkt hierbei sogar das Gefühl der verschiedenen Accommodationsanstrengung in beiden Augen. Zugleich erscheinen bei diesem Versuch die verschiedenen Quadrate oder Kreise keineswegs verschieden entfernt, sondern beide scheinen eine Zeichnung in der durch den Convergenzpunkt gelegten Ebene zu bilden. Die Meinung, als wenn die

*) Dove, Poggendorff's Ann 1858. Bd. 14. S. 325., Optische Studien. 1859, S. 20.

eine Figur vor oder hinter der andern liege, entsteht bisweilen nur dadurch, dass wegen der verschiedenen Entfernung die Contouren der Figuren von verschiedener Dicke erscheinen; corrigirt man aber die Contouren der einen Figur mit Rücksicht hierauf, so verschwindet alsbald diese Meinung. Verschiebt man ferner die eine oder andere Figur in der Tiefenrichtung, so scheint die Gesammtzeichnung an ihrer Stelle zu bleiben und nur ihre Grösse zu ändern. Man nehme z. B. zwei gleich grosse Quadrate und bringe das eine in 16, das andere in 8 Zoll Entfernung. Schiebt man nun beide über einander, so kommt das entferntere Quadrat in das nähere zu liegen. Bringt man dann bei unverändert bleibender Convergenz das erstere allmälig dem letzteren näher, so bleibt die Zeichnung an ihrem Orte, und es scheint blos das sich nähernde Quadrat sich zu vergrössern. — Es beweist dieser Versuch, dass nicht blos die Accommodation von der Stellung der Sehaxen vollkommen unabhängig gedacht werden kann, sondern dass man auch unter dem Einfluss der dominirenden Linien im Stande ist die Accommodation des einen Auges von der Accommodation des andern unabhängig zu machen; und der Versuch beweist zweitens, dass die Accommodation für das Urtheil über die Entfernung der Gegenstände im Vergleich mit der Convergenz der Sehaxen von so untergeordneter Bedeutung ist, dass ihr Einfluss gegen den Einfluss der letzteren vollkommen verschwindet.

Diese Schlussfolgerungen empfangen ihre Bestätigung durch directe Versuche über den Einfluss der Convergenz der Sehaxen auf die Schätzung der Entfernungen. Ich habe diese Versuche nach derselben Methode angestellt wie die in der vorigen Abhandlung (Nr. 1.) über den Einfluss der Accommodation mitgetheilten. Die Versuchsanordnung war ganz die dort in Fig. 1. gezeichnete, nur war statt der Röhre bei *o.* die nur das Durchsehen mit einem Auge zuliess, ein horizontaler Schlitz etwas grösser als die Entfernung beider Augen und vom Verticaldurchmesser der früher gebrauchten Röhre angebracht, welcher Schlitz sich gleichfalls gegen das Innere des Apparates zu so weit röhrenartig verlängerte, dass das Sehen der seitlich gelegenen Gegenstände unmöglich wurde. Es wurde also hier lediglich der im weissen Sehfeld befindliche Faden binokular betrachtet, ohne dass ausser der Convergenz der Sehaxen und der Accommodation beider Augen Anhaltspunkte vorhanden waren, die das Urtheil über die Entfernung des Fadens zu leiten vermochten. Der Einfluss der Convergenz lässt sich natürlich bei diesen Versuchen von dem der Accommodation nicht isoliren, da wir aber den letzteren bei den

monokularen Sehversuchen bereits kennen gelernt haben, so sind wir berechtigt, alle Verschiedenheiten, die wir jetzt zwischen beiden Fällen auffinden, lediglich dem Einflusse der Convergenz der Sehaxen zuzuschreiben.

Eine Reihe von Versuchen stellte ich so an, dass ich in derselben Weise wie früher einen Faden benutzte und in den verschiedensten Distanzen desselben von den Augen die Grenze der Verschiebung bestimmte, bei der noch eine Annäherung oder eine Entfernung wahrgenommen werden konnte.

Auch bei diesen Versuchen überzeugt man sich alsbald, dass es durchaus unmöglich ist, hierbei ein Urtheil über eine absolute Entfernung zu fällen. Zwingt man sich mit dem Massstab in der Hand zu einem Urtheil, so fällt dieses immer zu klein aus, und zwar scheint die wirkliche Entfernung meistens um ein Drittel bis die Hälfte verkürzt, ohne dass aber irgend ein constantes Verhältniss zwischen der wirklichen und geschätzten Entfernung stattfindet. Die Schätzung ist zwar, namentlich bei grösserer Annäherung des Fadens, etwas sicherer und nähert sich etwas mehr dem Richtigen als beim Sehen mit einem Auge, aber es ist der Unterschied zwischen monokularem und binokularem Sehen in dieser Hinsicht keineswegs irgend erheblich. Dies muss hier um so mehr hervorgehoben werden, weil die gegentheilige Meinung, dass wir bei binokularem Sehen wirklich die absolute Entfernung des fixirten Punktes zu beurtheilen vermöchten, sehr verbreitet ist und in den erwähnten Versuchen von H. Meyer scheinbar eine Stütze gefunden hat, obgleich die genauere Betrachtung dieser Versuche überzeugt, dass dieselben nur für das Urtheil über relative Entfernungsänderungen beweisend sind. Es ist eine durchaus falsche Meinung, wenn man glaubt, dass wir eine unmittelbare Kenntniss hätten von dem Punkte, in welchem unsere Sehaxen sich kreuzen; diese Kenntniss ist immer nur eine relative, d. h. wir wissen immer nur, ob wir auf einen nähern oder fernern Punkt als unmittelbar vorher unsere Augen eingestellt haben, aber selbst über den Grad der Entfernungsverschiedenheit zweier successiv betrachteter Punkte haben wir nur eine höchst ungefähre Vorstellung. Aus vielfachen Beobachtungen über relative Entfernungsverschiedenheiten haben wir uns nun allerdings auch eine gewisse Ansicht über absolute Entfernungen gebildet, aber wie irrthümlich und schwankend diese ist, davon kann man sich durch folgende Beobachtungen überzeugen.

Wenn wir ein unmittelbares Bewusstsein hätten von dem Convergenzpunkt unserer Sehaxen, so würde es leicht sein,

nachdem wir eine bestimmte Convergenz hervorgerufen haben, ohne aber einen Gegenstand zu fixiren, ein beliebiges Objekt in den Convergenzpunkt zu bringen, und dieses Objekt müsste alsbald einfach erscheinen, während, wenn wir das Objekt vor oder hinter den Convergenzpunkt bringen, es in verkehrt- oder rechtseitigen Doppelbildern gesehen werden muss. Man stelle also die Sehaxen in Convergenz, indem man in den leeren Raum starrt, und bringe dann einen feinen verticalen Stab in den vermutheten Convergenzpunkt. Man sieht hierbei immer zuerst Doppelbilder, die man erst nachträglich durch Correction der Sehaxenstellung zur Verschmelzung bringt, und zwar ist die Entfernung der Doppelbilder oft sehr beträchtlich.

Zur Vervollständigung dieses Beweises will ich hier eine auf die oben beschriebene Weise durch die directe Schätzung der Entfernung eines Fadens gewonnene Messungsreihe noch anfügen. Die Entfernungen sind Centimeter.

Wirkliche Entfernung.	Geschätzte Entfernung.
180	120
160	92
140	78
120	58
100	48
90	47
80	47
70	37
50	22
40	25

Die Bestimmung der relativen Entfernung der Objekte ist dagegen bei diesen Versuchen mit grosser Vollkommenheit möglich, und sie unterscheidet sich bei binokularem Sehen auf sehr bemerkenswerthe Weise von den auf monokulare Sehversuche gegründeten Bestimmungen. Misst man in derselben Weise wie früher die Grenze der Verrückung des Fadens, bei welcher eine Entfernungsveränderung desselben gerade noch wahrgenommen wird, so findet man, dass erstens diese Grenze bedeutend kleiner ist als bei monokularen Sehversuchen, und dass zweitens nicht wie dort innerhalb des ganzen Accommodationsgebietes ein merklicher Unterschied zwischen der Grenze der Annäherung und der Entfernung des Fadens vorhanden ist. Ein solcher Unterschied ist hier nur noch vorhanden in Distanzen, die in grösserer Entfernung vom Auge, aber noch diesseits des Fernpunktes der Accommodation gelegen sind, doch ist er auch hier geringer als bei den monokularen

Sehversuchen, und er verschwindet bei der grösseren Annäherung an's Auge gänzlich.

Ich werde, um eine Vergleichung möglich zu machen, eine Versuchstabelle hier anfügen, die von demselben Individuum gewonnen ist, von dem ich in der vorigen Abhandlung die monokularen Messungen mitgetheilt habe.

Entfernung des Fadens vom Auge.	Unterscheidungsgrenze für Annäherung — für Entfernung.
180	3,5 — 5
170	3 — 4
160	3 — 3
150	3 — 3
130	2 — 3
110	2 — 2
80	2 — 2
70	1,5 — 1,5
50	1 — 1

Die so erhaltenen Resultate sind jedoch keineswegs vollkommen constant, sondern sie können durch verschiedene Umstände abgeändert werden. Zunächst ist auch hier der Durchmesser des Fadens von einigem Einfluss. Bei einem dünneren Faden tritt manchmal die Verschiedenheit zwischen der Unterscheidungsgrenze der Annäherung und der Entfernung noch zu Tage, wo sie bei einem dickeren Faden schon aufgehört hat; ferner kann sogar bei binokularem Sehen, und zwar innerhalb des Gebiets merklicher Convergenz, die Täuschung eintreten, dass eine Verwechslung zweier Fäden von verschiedenem Durchmesser auf eine verschiedene Entfernung eines und desselben Fadens bezogen wird, aber es tritt diese Täuschung hier nur in verhältnissmässig geringer Breite auf. Von wesentlichem Einfluss auf die Unterscheidungsgrenzen ist endlich die Ermüdung. Diese ändert vorzugsweise die Bestimmungen in grösserer Nähe, während die Unterscheidungsgrenzen für fernere Punkte durch sie nur sehr langsam alterirt werden. Schon in der oben mitgetheilten Tabelle machen diese durch die Ermüdung veranlassten Schwankungen in den näheren Distanzen sich geltend, sie werden aber noch grösser, wenn man den Augen sehr bedeutende Convergenzstellungen zumuthet. So fand ich für 10 Cm. Entfernung kurz nach einander die Unterscheidungsgrenze zwischen 1 und 3 Cm. schwankend; dabei ändert sich dieselbe für Annäherung und Entfernung meistens gleichmässig. Ueber 10 Cm. konnte bei dem beobachteten Auge

der Faden nicht genähert werden, da dessen Nahpunkt schon bei 40 Cm. lag und daher in grösserer Nähe die bedeutenden Zerstreuungskreise dem Auge sehr lästig wurden. Von 50 bis zu 10 Cm. schien sich übrigens bei unermüdetem Auge die Unterscheidungsgrenze nicht mehr zu ändern, sondern constant auf 1 Cm. zu bleiben. Bei kurzsichtigen Augen, denen der Faden auf 1 bis 2 Cm. nahe gebracht werden kann, nimmt übrigens die Feinheit der Unterscheidungsgrenze bei dieser grösseren Nähe noch erheblich zu, und ich sah sie hier sogar 0,2—0,3 erreichen, dabei stellt sich aber dann meistens wieder eine geringe Ungleichheit der Unterscheidungsgrenze für Annäherung und Entfernung ein, indem die letztere fortwährend etwas grösser bleibt.

Vergleicht man die hier in den verschiedenen Entfernungen erhaltenen Werthe mit denjenigen, welche die monokularen Sehversuche lieferten, so fällt die bei binokularem Sehen so sehr viel feinere Unterscheidungsfähigkeit für Distanzunterschiede alsbald in die Augen. Die Verschiedenheit beträgt, je nach der Entfernung, nicht weniger als das Doppelte bis Vierfache des ganzen Werthes; sie ist geringer in weiteren Entfernungen und wächst immer mehr bei grösserer Annäherung. Aber es findet sich noch ein zweiter wesentlicher Unterschied; und dieser betrifft die Verschiedenheit in der Unterscheidungsgrenze für Annäherung und für Entfernung. Diese ist bei den binokularen Sehversuchen gerade in jenen Distanzen, in denen sie bei monokularem Sehen am deutlichsten hervortrat, gar nicht vorhanden oder verschwindend klein.

Diese beiden wesentlichen Differenzen zwischen der Erkennung von Distanzunterschieden bei monokularem und bei binokularem Sehen erklären sich nur durch die Annahme, dass im letzteren Fall nicht die Accommodation sondern die Convergenzbewegungen oder vielmehr die mit ihnen verknüpften Muskelgefühle das Hülfsmittel zur Entfernungsbestimmung abgeben. Die Gründe, warum die Erkennung von Distanzunterschieden bei monokularem Sehen einzig und allein dem Accommodationsgefühl zugeschrieben werden kann, habe ich früher ausführlich erörtert: der Hauptgrund bestand eben in der Verschiedenheit der Unterscheidungsgrenze für Annäherung und Entfernung innerhalb des ganzen Accommodationsgebietes. Wir sehen diese Erscheinung beim binokularen Sehen wegfallen, wir sehen hier innerhalb einer Grenze, in der die Veränderung der scheinbaren Grösse des gesehenen Objektes noch bei weiten nicht in Betracht kommt, schon das Urtheil über Distanzverschiedenheiten nach beiden Richtungen hin mit gleicher

Schärfe möglich. Es muss somit dasjenige Moment, welches das Urtheil bestimmt, bei der Annäherung wie bei der Entfernung des Gegenstandes in gleicher Grösse wirksam sein. Hierin unterscheiden sich nun in der That die Convergenzbewegungen von den Accommodationsbewegungen. Während nur der Annäherung der Gegenstände eine active Anstrengung des Accommodationsapparates entspricht, dagegen bei der Entfernung derselben die Accommodationsmuskeln lediglich in ihrer Spannung nachlassen, sehen wir bei den Bewegungen des Augapfels die Divergenz wie die Convergenz durch active Muskelthätigkeit ausgeführt werden, indem das eine Mal die äussern, das andere Mal die innern geraden Augenmuskeln in Zusammenziehung gerathen. In den mit beiden Zusammenziehungen verbundenen Muskelgefühlen ist offenbar für die Wahrnehmung der Anhaltspunkt gegeben, nach welchem sie sich bei der Auffassung von Distanzverschiedenheiten richtet. Sind aber die Bewegungsgefühle in den äussern Muskeln des Augapfels in diesem Fall massgebend, so ist nun auch leicht erklärlich, dass die Unterscheidungsgrenzen hier so bedeutend feiner sind als bei monokularem Sehen, wo allein die Accommodation bestimmend ist. Denn die Einrichtung unseres Accommodationsapparates ist verhältnissmässig viel weniger genau als die des äussern Bewegungsapparates unseres Augapfels. Durch die Accommodation ist unser Auge niemals für einen einzigen Punkt eingestellt, sondern immer für eine Linie, die eine gewisse Tiefenausdehnung hat, und innerhalb deren uns die Zerstreuungskreise unmerklich sind. Unsere Sehaxen aber stellen wir mit sehr vollkommener Schärfe auf den Punkt ein, den wir fixiren, und bei weit geringeren Abweichungen werden uns schon Doppelbilder merklich, die uns zur Correction unserer Sehaxenstellung veranlassen. So kommt es, dass es auch für die Genauigkeit der Unterscheidung von Entfernungen, die wir uns bei binokularem Sehen durch Uebung erwerben können, kaum eine Grenze giebt, während bei monokularem Sehen eine solche Grenze sehr bald erreicht ist, deshalb weil die Accommodationslinien immer ihre bestimmte Ausdehnung behalten, unter die sie nicht merklich herabsinken können.

Von dieser äussersten Genauigkeit, die in dieser Hinsicht bei binokularen Sehversuchen erreichbar ist, kann man sich besonders überzeugen, wenn man nicht die Distanzen eines Fadens aus dem Gedächtniss vergleichen lässt, sondern wenn man zwei Fäden neben einander zum Versuch anwendet und durch unmittelbare Vergleichung ihre Distanzverschiedenheit bestimmen lässt. Hier ist in geringeren Entfernungen und

bis zu 600 Cm. Distanz die Unterscheidungsgrenze fast unmessbar klein, die allergeringste Verschiebung des einen Fadens gegen den andern wird noch wahrgenommen; erst bei 700 bis 800 Cm. Entfernung steigt dann die Unterscheidungsgrenze etwa auf 1 Cm. Auch hierin zeigt sich also eine wesentliche Verschiedenheit von den monokularen Sehversuchen, wo bei der unmittelbaren Distanzvergleichung die Werthe nicht erheblich unter die Unterscheidungsgrenzen für die Annäherung herabsanken.

Es bleibt uns jetzt noch die Ursache zu erörtern, aus der in gewissen mittleren Distanzen auch bei binokularem Sehen die Unterscheidungsgrenze für die Annäherung etwas feiner ist als diejenige für die Entfernung, wie dies unsere obige Tabelle zeigt. Der Grund hierfür kann ein doppelter sein: entweder können die innern geraden Augenmuskeln ein feineres Bewegungsgefühl besitzen als ihre äussern Antagonisten, oder aber es kann bei der Annäherung des Gegenstandes die Bewegungsempfindung der innern Augenmuskeln gewissermassen unterstützt werden durch das hinzutretende Accommodationsgefühl. Die letztere Meinung findet unmittelbar darin ihre Widerlegung, dass die Accommodation innerhalb der geringen Distanzunterschiede, die hier in Betracht kommen, unmerklich ist, und dass es überdies bei dieser Voraussetzung unverständlich wäre, warum bei näherem Herantreten an den Nahpunkt diese Verschiedenheit der Unterscheidungsgrenzen wieder verschwindet und nicht im Gegentheil bedeutender wird. Gegen die erste Meinung scheint aber derselbe Umstand zu sprechen: wenn das Bewegungsgefühl der innern Augenmuskeln feiner ist als das der äussern, so sollte man auf den ersten Blick die gleiche Verschiedenheit bei jeder Entfernung erwarten. Dieser Widerspruch lässt sich aber hier, wie ich glaube, leichter erklären. Wir sind offenbar am meisten eingeübt auf die Hervorbringung geringer Convergenzgrade, weil die Stellung mit parallelen Sehaxen dem Ruhezustand unserer Augen entspricht und wir daher, sobald wir ein nicht in unendlicher Ferne liegendes Objekt ins Auge fassen wollen, unsere Sehaxen zur Convergenz bringen müssen, diese Convergenz ist aber nur in verhältnissmässig seltenen Fällen eine bedeutende, weil das Betrachten sehr naher Objekte immerhin seltener ist als die Richtung des Blickes auf solche, die in mässiger Entfernung gelegen sind. Wir produciren daher sehr häufig geringe Convergenzgrade und immer in der Absicht, unsere Augen auf bestimmte Objekte einzustellen; wollen wir nach Erreichung dieser Absicht wieder unsere Augen in die Ruhestellung zurück-

kehren lassen, so genügt es vollständig die Recti interni wieder abzuspannen, worauf die Sehaxen sich parallel stellen, ohne dass es dabei nöthig gewesen wäre die Recti externi nur in Zusammenziehung zu versetzen. So kommt es, dass für geringe Convergenzgrade ein ähnlicher Fall eintritt wie bei den Accommodationsbewegungen, dass nur der Annäherung des Objektes eine merkliche active Muskelthätigkeit entspricht, während bei der Entfernung desselben lediglich die vorher thätigen Muskeln in ihren Ruhezustand zurückfallen. Streng genommen hat dies nur allerdings eine Gültigkeit für die Rückkehr von einem geringen Convergenzpunkt zur Ruhestellung mit parallelen Sehaxen. Aber es lässt sich leicht denken, dass bei Stellungen, die von der Ruhestellung nicht viel verschieden sind, sich die gleiche Gewöhnung geltend macht, und dass erst eine nachträglich eintretende Muskelthätigkeit die Augen in der neuen Stellung fixirt. Anders verhält sich dies bei bedeutenderer Nähe der Gegenstände. Wollen wir unsere Sehaxen aus einer starken Convergenzstellung in eine etwas schwächere überführen, so genügt es nicht blos die Recti interni abzuspannen, denn für den Nachlass der Thätigkeit eines Muskels haben wir, wie uns die Accommodationsversuche lehrten, in dem Muskelgefühl keinerlei Mass; wollen wir daher genau die bestimmte Stellung treffen ohne zuvor in die Ruhelage zurückzufallen, so müssen wir, während die Thätigkeit der innern geraden Augenmuskeln nachlässt, durch die äussern geraden Augenmuskeln die Sehaxen in ihre neue Stellung überführen, so dass also hier, wie die Versuche fordern, der Convergenz- wie der Divergenzbewegung eine active Muskelthätigkeit von gleicher Energie entspricht.

2. Ueber die combinirten Augenbewegungen.

Im vorigen Abschnitt ist bereits ein specieller Fall der combinirten Augenbewegungen, die Convergenz- und Divergenzbewegung oder, wie wir sie der Kürze halber mit einem Wort bezeichnen wollen, die Horizontalbewegung beider Augen zur Sprache gekommen. Diese Horizontalbewegung ist für das combinirte Sehen von besonderer Bedeutung, weil sie in nächster Beziehung steht zu der Wahrnehmung der Tiefendimension und zum Sehen in verschiedene Entfernungen, und weil sie, was damit zusammenhängt, von allen combinirten Bewegungen der Augen bei weitem den freiesten Spielraum hat. Die Horizontalbewegung ist nämlich dadurch ausgezeichnet, dass bei ihr jeder beliebige Bewegungsumfang und jede beliebige Bewegungsrichtung des einen Auges mit jedem beliebigen Bewegungsumfang und

jeder beliebigen Bewegungsrichtung des andern Auges sich verbinden kann, während bei der Verticalbewegung (nach oben und unten) beide Augen genau zum gleichen Bewegungsumfang und zur gleichen Bewegungsrichtung gezwungen sind. Zwischen beiden Extremen in der Mitte stehen die schrägen Bewegungen, bei denen in Bezug auf Bewegungsumfang und Bewegungsrichtung beide Augen nur insofern an einander gebunden sind, als die Sehaxen derselben fortwährend in einer Ebene bleiben müssen, welche die Vereinigungslinie der Drehpunkte beider Augen zur Axe hat; man kann sich daher auch alle schrägen Bewegungen hervorgebracht denken durch eine Drehung um diese Axe und durch eine nachher erfolgende Horizontalbewegung, d. h. sie lassen sich in successive Vertical- und Horizontalbewegungen zerlegen.

Die Wege, welche die Sehaxen beider Augen bei ihren Bewegungen zurücklegen, entsprechen vollkommen den Wegen der Sehaxe des einzelnen Auges, die wir früher erörtert haben. (Abh. III. 3.) Bei den Horizontal- und Verticalbewegungen, bei denen das einzelne Auge im Sehfeld gerade Linien zurücklegt, bewegen sich daher auch beide Augen in geraden Linien, während bei allen schrägen Bewegungen Bogenlinien von dem Endpunkte beider Sehaxen beschrieben werden. Dabei findet aber eine bemerkenswerthe Verschiedenheit statt, je nachdem der fixirte Punkt, der Durchschnittspunkt beider Sehaxen, während der ganzen Bewegung in der gleichen Ebene bleibt oder nicht. Der erstere Fall findet statt bei der ruhigen Betrachtung in einer Ebene liegender Gegenstände, und es sind hier die Curven, welche der Endpunkt jeder Sehaxe im Sehfeld beschreibt, vollkommen mit einander identisch in Bezug auf ihre Form und Richtung, es fallen nicht blos die Wege des Endpunktes der Sehaxe mit einander zusammen, sondern es sind auch die Wege der ganzen Sehaxe einander congruent und gleich gerichtet. Anders ist dies, wenn der fixirte Punkt sich sogleich nach der Tiefe des Raums hin bewegt, welcher Fall den Convergenz- und Divergenzbewegungen entspricht, die nicht blos als reine Horizontalbewegungen sondern auch, mit einer Verticaldrehung combinirt, als schräge Bewegungen vorkommen. Bei diesen schrägen Convergenz- und Divergenzbewegungen geht das Auge gleichzeitig über von einem entfernteren Gegenstand zu einem näheren oder umgekehrt und von einem höher zu einem tiefer gelegenen oder umgekehrt. Hier beschreiben beide Sehaxen Wege, die nicht vollkommen congruent sein müssen, sondern wo, je nach der Ausgangsstellung, der Krümmungshalbmesser des vom Endpunkt der

einen Sehaxe beschriebenen Bogens grösser oder kleiner sein kann als der Krümmungshalbmesser des vom Endpunkt der andern Sehaxe beschriebenen Bogens. Befinden sich z. B. die Augen in einer Ausgangsstellung, in der beide Sehaxen convergiren, so aber, dass das linke Auge etwas nach aussen und das rechte etwas stärker nach innen gedreht ist, und wird nun von dieser Stellung in eine zweite übergegangen, in der die Sehaxen auf einen noch näher, noch weiter links und noch weiter oben gelegenen Punkt convergiren, so kommt die hierzu nothwendige Bewegung zu Stande, indem das linke Auge einen kürzeren Weg von grösserem Krümmungshalbmesser, das rechte Auge einen längeren Weg von kleinerem Krümmungshalbmesser zurücklegt.

Sind aber die von beiden Sehaxen zurückgelegten Wege congruent, wie dies der Fall ist, wenn dieselben von einer symmetrischen Stellung wieder zu einer symmetrischen Stellung übergehen, so ist immer die Richtung der Bewegung eine verschiedene, und es gehen daher in diesem Fall die Krümmungen der von den Sehaxen beschriebenen Wege nach entgegengesetzten Richtungen. Gehen z. B. beide Augen aus einer symmetrischen Convergenzstellung (wo der fixirte Punkt in der Mittelebene beider Augen gelegen ist) wieder zu einer symmetrischen Convergenzstellung über, die sich von der vorigen dadurch unterscheidet, dass der fixirte Punkt zugleich näher und weiter oben liegt, so geht diese Bewegung bei meinen Augen in der Weise vor sich, dass beide Augen congruente Wege beschreiben, dass aber die Krümmung beider Wege nach innen geht, sich also zugekehrt ist. Da bei diesen schrägen Convergenzbewegungen beide Augen gekrümmte Wege beschreiben, so legt auch der Convergenzpunkt bei seiner Annäherung an's Auge oder bei seiner Entfernung von demselben nicht eine gerade sondern eine gekrümmte Linie zurück, deren Krümmung in jedem einzelnen Fall nach der Krümmung der von beiden Augen zurückgelegten Wege sich richtet; es ist dieser Weg des Convergenzpunktes nichts anderes als die Durchschnittslinie der zwei Kegelmäntel, welche von den Wegen der beiden Sehaxen gebildet werden*).

*) In Bezug auf die Wege, welche die Sehaxe des einzelnen Auges beschreibt, muss ich hier meinen früheren Angaben noch eine Ergänzung hinzufügen. Die Form dieser Wege war, wie die Versuche an meinem eigenen Auge ergaben, eine solche, dass der Endpunkt der Sehaxe bei allen schrägen Bewegungen nach innen Bogen beschrieb, deren Convexität nach innen gerichtet war, bei allen schrägen Bewegungen nach aussen Bogen, deren Convexität nach aussen gerichtet war (s. 3. Abh. Fig. 4). Die

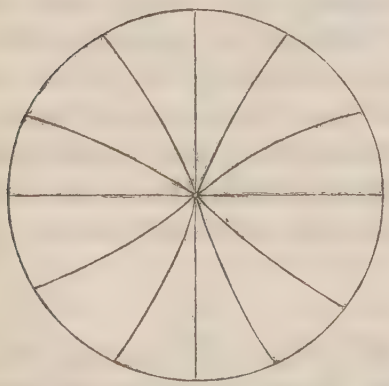
Von ungleich grösserer Wichtigkeit als diese Ergebnisse über die Beschaffenheit der Wege, welche bei den combinirten Bewegungen die Sehaxe jedes einzelnen Auges zurücklegt, ist für das binokulare Sehen die Ermittlung der Stellung, in welcher sich für jede Lage der Augen jedes einzelne Auge befindet, denn aus dieser Stellung ergiebt sich unmittelbar das relative Lageverhältniss der auf beide Netzhäute entworfenen Bilder der Gegenstände. Die Ermittlung der combinirten Augenstellungen bildet daher das Hauptmoment für die Entscheidung aller das Einfach- und Doppelsehen der Objekte betreffenden Fragen.

Auch hier ist die Stellungsänderung jedes einzelnen Auges beim Uebergang aus einer ersten in eine zweite Lage gegeben, wenn man ausser der Richtung der Sehaxe die Drehung kennt, welche das Auge in Bezug auf dieselbe erfahren hat, d. h. man braucht ausser der jedesmaligen Richtung der Sehaxe immer nur die Stellung zu wissen, die irgend ein anderer Durchmesser oder ein Meridian des Auges zu derselben einnimmt, um von der Lage des Auges vollständige Kenntniss zu haben. Bestimmt man in dieser Weise die Lage beider Augen, und führt man diese Bestimmungen für alle möglichen Stellungen derselben aus, so hat man damit das Material zur Lösung jedes

---

Beobachtung an mehreren andern Augen lieferte ähnliche Ergebnisse und ich war deshalb geneigt zu glauben, dass das erwähnte Gesetz für alle Individuen massgebend sei. Ausgedehntere Versuche haben aber gezeigt, dass in selteneren Fällen auch die umgekehrte Krümmung der Bogenlinien vorkommt. Man findet nämlich bei einzelnen Individuen ebenso constant für alle schrägen Bewegungen nach innen die Concavität der Bogen nach innen und für alle schrägen Bewegungen nach aussen dieselbe nach aussen gekehrt, so dass für diese Fälle durch die nebenstehende Fig. 1. die Bewegungen des gelben Flecks dargestellt werden. Ich habe für diese Untersuchungen ausser der früher angegebenen Methode noch eine neue, die schnellere Ergebnisse liefert, mittelst Nachbildern angewandt, deren Methode ich Herrn Prof. Helmholtz verdanke. Man sieht leicht ein, dass die erwähnte individuelle Verschiedenheit in der Krümmung der Bogen auf einer eigenthümlichen Differenz der Muskelwirkung beruht, indem bei der ersten Form der Bewegung der obere oder untere gerade Augenmuskel über den äussern oder innern am Ende der Zusammenziehung, bei der zweiten Form der Bewegung aber im Anfang der Zusammenziehung ein relatives Uebergewicht behauptet.

Fig. 1.



Problems in der Hand, das von mechanischer Seite aus in Bezug auf das binokulare Sehen sich aufstellen lässt.

Es fällt nun, wenn man nur die Resultate kennt, die man in Bezug auf die Stellungen eines einzelnen Auges erhalten hat, sogleich in die Augen, dass jedenfalls bei der grössten Zahl der combinirten Augenstellungen beide Augen eine ungleiche Drehung um die Sehaxe müssen erfahren haben, vorausgesetzt nämlich, dass bei den combinirten Bewegungen nicht die Stellung des einzelnen Auges eine verschiedene von der ist, die es bei unabhängiger Bewegung in der gleichen Lage der Sehaxe einnimmt. Schon die Vergleichung der blossen Richtung der Drehung führt zu diesem Resultat. Wenn man z. B. das Auge von der Ruhestellung mit gerade nach vorn gerichteter Sehaxe aus nach innen und oben führt, so findet bei dieser Bewegung eine derartige Drehung um die Sehaxe statt, dass der anfänglich verticale Meridian des Auges sich mit seinem obern Ende nach innen neigt, und es lässt die Grösse dieser Drehung leicht sich messen, wenn man sich in der Anfangsstellung durch längeres Betrachten eines farbigen Streifens ein negatives Nachbild verschafft und dann nach der Bewegung unmittelbar die Drehung misst, welche dieses Nachbild, das immer auf eine zur Sehaxe senkrecht bleibende Ebene projicirt werden muss, erfahren hat. Ist nun die Drehung des andern Auges bei der gleichen Bewegung gleich gerichtet und annähernd gleich gross, wie dies in der That der directe Versuch ergiebt, so ist der Erfolg klar, der eintritt, wenn beide Augen aus der Stellung mit parallel gerade nach vorn gerichteten Sehaxen in eine Convergenzstellung nach Oben übergehen, wie dies geschieht, wenn sich jedes einzelne Auge nach innen und oben bewegt. Es werden dann die vorher parallelen Meridiane beider Augen nicht mehr parallel sein, sondern sich gegen einander geneigt haben und einen Winkel mit einander einschliessen. Ganz das Aehnliche findet statt, wenn die Sehaxen sich in eine Convergenzstellung nach unten bewegen, nur geht hier, wenn die Bewegung von bedeutenderem Umfang ist, die Drehung nach der entgegengesetzten Richtung; ja es tritt derselbe Erfolg ein, wenn die Sehaxen in ihrer ursprünglichen Horizontalebene bleiben und nur zu einer starken Convergenz sich einstellen, denn auch bei den Bewegungen des einzelnen Auges gerade nach innen findet eine geringe Drehung um die Sehaxe statt. Endlich sind auch bei allen unsymmetrischen Convergenzstellungen derartige Differenzen in der Stellung beider Augen vorauszusagen. Stellen sich z. B. beide Augen zur Convergenz auf einen Punkt, der links und oben im gemeinsamen

Sehfeld gelegen ist, so haben zwar beide Augen eine Drehung in der gleichen Richtung erfahren, der verticale Meridian eines jeden hat sich mit seinem obern Ende nach links geneigt, aber die Grösse dieser Drehung ist bei beiden verschieden, am rechten Auge, dessen Sehaxe bedeutender aus ihrer Anfangsstellung abweicht, ist auch der Drehungswinkel grösser, und beide Drehungswinkel fallen daher nicht zusammen sondern sind gegen einander geneigt.

Es ist nun leicht zu bemerken, dass die erörterte Differenz der Stellung beider Augen im Vergleich zu ihrer Anfangsstellung niemals direct gemessen werden kann. Die Stellung des einzelnen Auges wird ermittelt, wenn man zum Sehfeld eine auf die Sehaxe senkrechte Ebene nimmt und die Lage bestimmt, welche irgend ein Durchschnitt der Netzhaut projicirt auf diese Ebene in den verschiedenen Stellungen der Sehaxe hat; nur projicirt auf eine dergestalt immer zur Sehaxe senkrecht bleibende Ebene, sind die Drehungen, welche die Projectionen der Meridiane des Auges erfahren, den wirklichen Drehungen um die Sehaxe gleich, während der Einfluss der Perspective die Winkel verringert oder vergrössert, wenn sie auf irgend eine andere Ebene projicirt werden. Nun lassen sich aber die Drehungen beider Augen gegen einander gleichzeitig nicht anders ermitteln, als indem man dieselben auf eine Ebene projicirt, indem man also z. B. den Winkel misst, welchen zwei in der Anfangsstellung parallele Nachbilder bei der zweiten Stellung der Sehaxe auf einer Ebene mit einander bilden. Es giebt nun aber nur in einem einzigen Fall eine Ebene, die auf beiden Sehaxen zugleich senkrecht steht, nämlich wenn diese parallel in unendliche Ferne gerichtet sind, welcher Fall hier nicht in Rücksicht kommt. In allen andern Fällen bilden die auf die Sehaxen senkrechten Ebenen mit einander Winkel, welche die Convergenzwinkel zu 180^0 ergänzen, und es giebt daher kein gemeinsames Sehfeld, auf welchem die Stellungen beider Augen zu einander unmittelbar gemessen werden könnten, sondern man kann hierzu nur auf indirectem Wege gelangen, indem man entweder successiv die Stellung jedes einzelnen Auges ermittelt, oder indem man eine beliebige Ebene zum gemeinsamen Sehfeld wählt, auf dieses die combinirte Augenstellung bezieht und dann hieraus erst die wirkliche Stellung berechnet.

Die letztgenannte Methode ist von besonderer praktischer Bedeutung, denn schon ihre unmittelbaren Resultate haben Interesse für das Studium des binokularen Sehens. Variirt man nämlich für eine und dieselbe Sehaxenstellung die Ebene

des gemeinsamen Sehfeldes, so verändert man damit auch die Winkel, welche die gleichen Meridiane beider Augen in ihren Projectionen auf das Sehfeld mit einander einschliessen, und man erhält so unmittelbar durch das Experiment Aufschluss über die Grösse, in der sich die Incongruenz der Augenstellungen in verschiedenen Sehfeldern geltend macht. Auch hier sind im Ganzen die Nachbilder linearer farbiger Streifen für die Bestimmung der Lage der Augen am zweckmässigsten. Ich verschaffte mir in einer schwachen Convergenzstellung, in der noch keine merkliche Drehung um die Sehaxe vorhanden war, durch längeres Betrachten eines verticalen farbigen Streifens ein complementäres Nachbild und projicirte dann dieses Nachbild auf eine constante Verticalebene, auf der in verschiedenen Distanzen Fixationspunkte angebracht waren, an diesen waren farbige Fäden befestigt, die zur Fixation der Lage des Nachbildes, zum Behuf der nachherigen Messung, mit demselben zur Deckung gebracht wurden. Auf diese Weise liess sich bestimmen erstens die Stellungsänderung des verticalen Netzhautmeridians jedes einzelnen Auges beim Uebergang der Sehaxe aus einer bestimmten Lage in eine andere, und zweitens die Stellungsänderung der beiden verticalen Netzhautmeridiane zu einander bei der gleichen Lageänderung der Sehaxen, immer diese Stellungen projicirt gedacht auf eine und dieselbe der Gesichtsebene parallele Verticalebene. Bei der ersteren Bestimmung wurde das eine Auge geschlossen gehalten, während das andere den farbigen Streifen zur Hervorrufung des Nachbildes betrachtete, bei der letzteren Bestimmung wurde das Nachbild in beiden Augen gleichzeitig erzeugt. Beide Versuchsweisen entsprachen sich also vollkommen und liessen übereinstimmende Resultate erwarten, der einzige Umstand, worin sie abwichen, war der, dass im einen Fall die Incongruenz in der Stellung beider Augen in Bezug auf das gewählte Sehfeld abgeleitet werden sollte aus der ermittelten Stellung jedes einzelnen Auges, und dass im andern Fall diese Incongruenz direct durch die gleichzeitige Benutzung beider Augen sollte beobachtet werden.

Es ergiebt sich jedoch bei diesen Versuchen eine höchst bemerkenswerthe Abweichung von dem erwarteten Resultate. Erzeugt man nämlich in beiden Augen gleichzeitig das verticale Nachbild, und führt man dann die Augen in ihre neue Stellung über, so sollte vermuthet werden, dass das vorher gemeinsame Nachbild sich nun in zwei getrennt hat, die sich im Fixationspunkte kreuzend denselben Winkel mit einander einschliessen, welchen die in zwei auf einander folgenden Versuchen beobachteten

getrennten Nachbilder des einen und des andern Auges mit einander bilden. Dies ist aber nicht der Fall, sondern das gemeinsame Nachbild beider Augen bleibt in jeder neuen Stellung gemeinsam. Untersucht man aber die Neigung zum Horizont, die dasselbe in den verschiedenen Stellungen der Augen erfährt, so findet man, dass es immer eine zwischen den einzelnen Nachbildern beider Augen in der Mitte befindliche Lage einnimmt. Es kann somit das Einfachsehen des binokularen Nachbildes nicht etwa dadurch zu Stande kommen, dass das eine der es zusammensetzenden Nachbilder auf Kosten des andern übersehen wird, sondern das binokulare Nachbild muss wirklich ein gemeinsames sein, das durch Verschmelzung gebildet wird. Man kann sich von dieser Verschiedenheit der Lage des Nachbildes in beiden Fällen leicht überzeugen, wenn man zuerst das binokulare Nachbild betrachtet und dann das eine oder andere Auge schliesst; man sieht auf diese Weise jedes Mal das Nachbild seine Lage verändern, und bemerkt, dass das binokulare Nachbild die mittlere Richtung zwischen den zwei monokularen Nachbildern hat. Die Art, wie diese Verschmelzung geschieht, kann aber eine doppelte sein: entweder ist bei binokularem Sehen eine Differenz in den Stellungen der Augen im Vergleich mit ihren Stellungen bei monokularem Sehen in den entsprechenden Lagen der Sehaxen vorhanden, so dass die Netzhautmeridiane beider Augen immer eine übereinstimmende Richtung beibehalten; oder die Stellung der Augen beim binokularen Sehen ist nicht verschieden von der bei monokularem Sehen für jedes einzelne Auge gefundenen, es findet also die erwartete Incongruenz der Augenstellungen in Wirklichkeit statt, sie wird aber nicht bemerkt, weil in der Wahrnehmung die zwei wenig verschiedenen Bilder beider Augen sich mit einander vereinigen. Im ersten Fall würde also die beobachtete Verschmelzung auf einem physischen Gesetze beruhen, im zweiten Fall würde sie wahrscheinlich in einer psychischen Thätigkeit begründet sein.

Es würde voreilig sein, wenn man a priori über die grössere Wahrscheinlichkeit der einen oder der andern Erklärung urtheilen wollte. In der That scheint es von vornherein ganz gut denkbar zu sein, dass beide Augen beim binokularen Sehen ihre Stellungen nach einander einrichten, dass, nachdem jedes Auge die Lage angenommen hat, die für das monokulare Sehen ihm zukommt, unter dem Einfluss des gemeinschaftlichen Sehactes eine compensirende Augendrehung stattfindet, welche die vorhandene Incongruenz der Netzhautbilder zum Verschwinden bringt; es ist aber ebenso gut denkbar, dass die Incongruenz

in Wirklichkeit bleibt, und dass sie erst bei der Perception der Netzhautbilder sich aufhebt. Der einzige Umstand, der die letztere Annahme a priori etwas wahrscheinlicher macht, ist die grosse Constanz der Lage des Auges für jede einzelne Stellung der Sehaxe, welche die monokularen Sehversuche ergeben. Diese Constanz ist so gross, dass die Drehstellung des Auges vollkommen unveränderlich bleibt, auf welchem Weg auch die Sehaxe in ihre Lage gelangt sein mag; man kann es deshalb vielleicht unwahrscheinlich finden, dass der Einfluss des combinirten Sehens mächtig genug sein sollte, um einen Zusammenhang zu lösen, der so fest in der Muskelanordnung und Befestigungsweise des Augapfels begründet liegt, während wir hingegen dafür, dass in der Auffassung der Gesichtsempfindungen mannigfache Incongruenzen der Netzhautbilder zum Verschwinden kommen, viele anderweitige Belege besitzen.

Folgende Beobachtungen erhöhen die Wahrscheinlichkeit, die sich hieraus ergiebt, noch in bedeutendem Grade. Zunächst bemerkt man, dass das aus der Vereinigung zweier unter einem kleinen Winkel zu einander geneigter monokularer Nachbilder hervorgegangene binokulare Nachbild von diesen nicht blos darin sich unterscheidet, dass es auf die gleiche Sehfeldebene projicirt eine mittlere Lage zwischen denselben inne hat, sondern es nimmt auch insofern eine andere Lage im Raume ein, als es nicht in der gleichen Ebene zu liegen scheint, sondern sich aus der Ebene, in der die monokularen Nachbilder gelegen sind, nach der Tiefe des Raumes erstreckt, kurz: das binokulare Nachbild erscheint nicht blos einfach sondern auch stereoskopisch. Man sieht nun leicht ein, dass zu dieser Erscheinung im Versuch die nothwendige Bedingung gegeben ist, denn in der That ist ja, vorausgesetzt dass die einfachen Nachbilder die Lage behalten, die sie bei den monokularen Bewegungen inne haben, der Fall derselbe, als wenn man zwei in ihrer Richtung von der verticalen wenig abweichende Linien, die unter einem geringen Winkel zu einander geneigt sind, im Stereoskop betrachtet. Im einen wie im anderen Falle erhält man zwei verschiedene perspectivische Ansichten eines und desselben Gegenstandes zur Auffassung, aus denen man sich die Vorstellung der Tiefenausdehnung zu bilden vermag.

Hiernach wird Mancher vielleicht erwarten, dass bei der Benützung horizontaler Nachbilder die ganze Erscheinung verschwinde, dass hier, da wir nicht im Stande sind annähernd horizontale Linien von etwas verschiedener Neigung zu einem

stereoskopischen Bild zu vereinigen, der Winkel vielleicht direct beobachtet werden könne, welchen zwei Meridiane der Netzhaut auf die gewählte Sehfeldebene projicirt mit einander einschliessen. Aber man findet auch bei der Benützung horizontaler Nachbilder zu den Versuchen, dass die Nachbilder beider Augen zu einem gemeinsamen Nachbild, das eine mittlere Lage zwischen jenen einnimmt, verschmelzen, obgleich hier die stereoskopische Erscheinung nicht eintritt. Bei einer näheren Kenntniss der Bedingungen, unter welchen ein Verschmelzen der Gesichtsempfindungen beider Netzhäute stattfindet, kann aber auch dieses Resultat nicht in Erstaunen setzen, da anderweitige Versuche, auf die wir später zurückkommen werden, lehren, dass, wenn die Verschiedenheit in der Lage der beiden Netzhautbilder innerhalb gewisser Grenzen bleibt, sie auch dann vereinigt werden können, wenn sie nicht im Stande sind die stereoskopische Täuschung hervorzurufen.

Die Lageverschiedenheit der Nachbilder, die im vorliegenden Fall in Betracht kommt, bleibt aber immer so gering, dass sie nie jene Grenze überschreitet, innerhalb deren unter diesen Umständen noch eine Vereinigung möglich ist.

Es kann dagegen durch eine der obigen ganz ähnliche Versuchsweise die Incongruenz in der Stellung beider Augen direct wahrnehmbar gemacht werden. Dies ist der Fall, wenn man nicht Nachbilder benützt, sondern wenn man unmittelbar eine feine verticale oder horizontale Linie betrachtet, die man in das gewählte Sehfeld gezeichnet hat. Bei vorhandener Incongruenz der Augen muss das Bild aller Punkte dieser Linie mit Ausnahme des fixirten Punktes auf verschiedene Stellen beider Netzhäute fallen, und es ist daher zu erwarten, dass die Linie in Doppelbildern erscheint, die im fixirten Punkte sich kreuzen. Dieser Erfolg tritt nun, wenn man die Sehaxen in starke Convergenz bringt, um dadurch ausgiebige Drehungen um die Sehaxe nach entgegengesetzten Richtungen zu erzielen, in der That ein: man sieht die betrachtete Linie, sei sie vertical oder horizontal, meistens in gekreuzten Doppelbildern, die einen Winkel von wenig Graden zwischen sich einschliessen. Es ist diese Erscheinung in Bezug auf verticale Linien beiläufig schon von J. Müller beobachtet, aber unrichtig erklärt worden*), von Meissner wurde sie später auf ihren wahren Grund zurückgeführt und in ausgedehnter Weise zur Bestimmung der Augenstellungen benützt.**) Auch

*) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. S. 183.

**) Beiträge zur Physiologie des Sehorgans. Leipzig 1854.

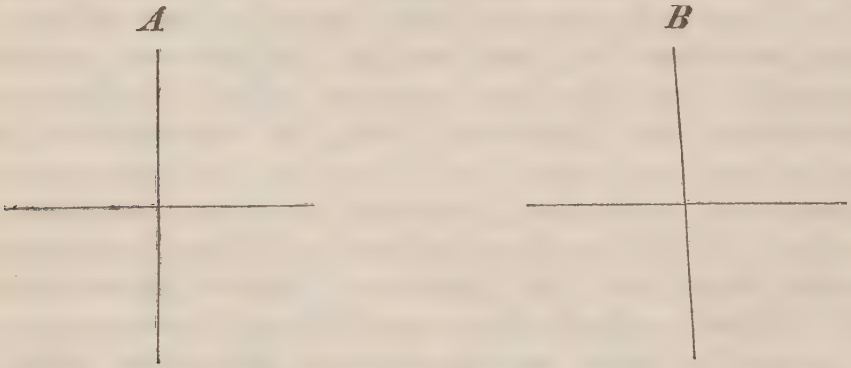
wird man alsbald geneigt sein dieser Versuchsweise wenigstens zur Ermittelung der combinirten Augenstellungen vor der Methode der Nachbilder, bei der es sich wegen der erörterten Verschmelzung der gemeinsamen Nachbilder nur um eine successive Bestimmung der Stellung beider Augen handeln kann, den Vorzug zu geben, weil sie die Resultate unmittelbarer liefert. Doch überzeugt man sich leicht, dass auch bei ihr eine Messung der kleinsten Winkel nicht mehr möglich ist, weil die Doppelbilder die Neigung haben mit einander zu verschmelzen. Dies geht schon daraus hervor, dass die Doppelbilder erst bei sehr starken Convergenzgraden merklich werden, während die successive Bestimmung der Stellung jedes einzelnen Auges ergiebt, dass in Wirklichkeit vermuthlich schon bei viel geringeren Convergenzgraden eine Incongruenz der Augenstellungen vorhanden ist. Es geht dies aber weiterhin auch daraus hervor, dass es selbst bei starken Convergenzgraden, wo die gekreuzten Doppelbilder gewöhnlich sehr deutlich erscheinen, zuweilen möglich wird dieselben zu vereinen, und zwar erscheint dann bei Betrachtung einer verticalen Linie das vereinigte Bild stereoskopisch, ebenso wie unter den gleichen Verhältnissen das gemeinsame Nachbild. Man kann selbst bei ziemlich bedeutender Divergenz der verticalen Doppelbilder die Vereinigung erzwingen, wenn man sich zuvor die stereoskopische Vorstellung bildet. Betrachtet man z. B. bei starker Convergenz eine verticale Linie, die man auf ein Blatt Papier gezeichnet hat, welches der Antlitzfläche parallel gehalten wird, so sieht man, wenn es gelingt die Doppelbilder zu vereinigen, das Stück der Linie, das oberhalb des fixirten Punktes liegt, sich von der Ebene des Papieres gegen den Beobachter zu erstrecken, während das Stück der Linie, das unterhalb des fixirten Punktes liegt, sich nach der entgegengesetzten Seite über die Ebene des Papieres hinaus erstreckt. Noch leichter gelingt die stereoskopische Vereinigung, wenn man nicht die Mitte, sondern das eine Ende der Linie fixirt. Betrachtet man z. B. das untere Ende der Verticallinie, so scheint dieselbe sich vom Fixationspunkt gegen den Beobachter zu erstrecken, betrachtet man das obere Ende der Linie, so scheint dieselbe sich vom Beobachter zu entfernen und jenseits des Fixationspunktes zu liegen.

Der Grund dafür, dass die Doppelbilder einer Linie eher auseinander treten als die einzelnen Nachbilder beider Augen, liegt auf der Hand. Eine Linie kann man fast beliebig fein ziehen, und in der That muss die Linie auch äusserst fein sein, um bei diesen Versuchen Doppelbilder zu geben; bei

der Wahl der farbigen Streifen, die man zur Hervorrufung der Nachbilder benützt, darf man aber nie bis zu dieser äussersten Grenze gehen, weil man sonst die Deutlichkeit des Nachbildes allzu sehr beeinträchtigt. — Trotzdem sieht man, dass auch durch die Doppelbilderversuche darüber, ob es compensirende Augendrehungen giebt, welche beim combinirten Sehen die Stellungen beider Netzhäute übereinstimmend machen, oder nicht, keine sichere Entscheidung gegeben ist. Es kann zwar durch dieselben als sicher festgestellt betrachtet werden, dass bei starken Convergenzstellungen der Sehaxen meistens eine Incongruenz der Netzhäute vorhanden ist, ob aber dies auch in Bezug auf schwächere Convergenzstellungen gilt, bleibt in Frage. Ebenso ist vielleicht nicht Jeder geneigt, in dem Auftreten der stereoskopischen Erscheinung bei der Vereinigung der durch stärkere Convergenzen hervorgebrachten Doppelbilder einen genügenden Beweis dafür zu sehen, dass diese Vereinigung lediglich in einer psychischen Thätigkeit ihren Grund hat ohne Hinzutreten einer bestimmten physischen Ursache.

Weit mehr noch spricht für das Fehlen solcher compensirender Augendrehungen folgender Versuch, der von Herrn Prof. Helmholtz ersonnen wurde. Man zeichne neben einander zwei gleich grosse Kreuze, Fig. 2, deren horizontale

Fig. 2.



Schenkel vollkommen in derselben Linie liegen, deren verticale Schenkel aber um sehr wenig zu einander geneigt sind, indem die verticale Linie in A zur horizontalen senkrecht steht, in B etwas von 90^0 abweicht. Sucht man beide Kreuze durch Schielen zu vereinigen, so gelingt dies vollkommen, es decken sich nicht blos die horizontalen, sondern auch die verticalen Schenkel der Kreuze, vorausgesetzt dass die Richtungsverschiedenheit der letztern nicht eine gewisse Grenze überschreitet. Auch hier erhält man von der Verticallinie ein stereoskopisches Bild. Man kann aber auch ohne den Einfluss des stereos-

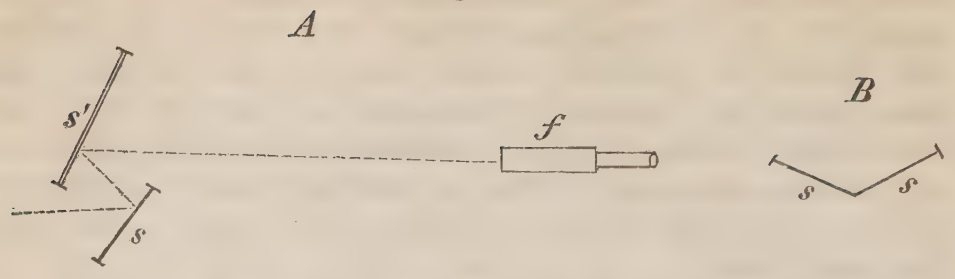
kopischen Sehens das gleiche Resultat erzielen, wenn man umgekehrt die Verticallinien parallel macht und die horizontalen etwas zu einander neigt; hier ist die Bildung einer stereoskopischen Vorstellung unmöglich, trotzdem sieht man ein einfaches Kreuz, dessen horizontaler Schenkel aber nicht mehr vollkommen zum verticalen senkrecht steht, sondern die mittlere Richtung einhält zwischen den beiden vereinigten Horizontallinien.

Es ist klar, dass bei diesem Versuch nicht die Rede sein kann von einer compensirenden Augendrehung, durch welche wirklich die Bilder der verschieden gerichteten Linien auf übereinstimmende Netzhautmeridiane zu liegen kämen, denn durch eine solche Drehung würde alsbald die Deckung der beiden anderen Linien aufgehoben, und es müssten nun diese unter demselben Winkel zu einander geneigt erscheinen, welchen die ersteren in Wirklichkeit mit einander bilden. In diesem Versuch findet also ohne alle Frage eine Vereinigung statt, ohne dass diese durch eine physische Ursache ermöglicht wurde. Trotzdem dies als ein bedeutender Beweis dafür angesehen werden kann, dass auch die früher erörterte Vereinigung der Nachbilder und der Doppelbilder nicht in Abänderungen der Stellungen beider Augen zu einander begründet liegt, so habe ich es doch noch für nöthig erachtet, diese Frage, die für das ganze Gebiet dieser Untersuchungen von der höchsten Wichtigkeit ist, durch directe Beobachtungen zur Entscheidung zu bringen.

Hierzu musste der Weg subjectiver Versuche verlassen werden. Auf diesem liess sich mehr nie erreichen, als das Fehlen compensirender Augendrehungen im höchsten Grade wahrscheinlich zu machen, ein directer Beweis war aber unmöglich, weil eben der Grund, der diese ganze Untersuchung nöthig machte, die Ungenauigkeit unserer Wahrnehmung in Bezug auf Netzhautbilder von wenig verschiedener Lage, bei den subjectiven Versuchen immer vorhanden blieb. Es war daher nöthig, eine Methode aufzufinden, durch welche die Stellungen beider Augen auf's Genaueste objectiv beobachtet werden und die Stellungen jedes einzelnen für die gleiche Lage der Sehaxen bei monokularem und bei binokularem Sehen verglichen werden konnten. Ich erreichte dies durch folgende Versuchsanordnung, Fig. 3.

Zwei ebene Spiegel, *s s*, ohne Fassung sind unter einem stumpfen Winkel so zu einander geneigt, dass sie mit ihrer inneren Kante dicht an einander stossen. Jeder Spiegel ist an einer Verticalaxe befestigt, um welche er drehbar ist, so

Fig. 3.



dass der Neigungswinkel beider Spiegel zu einander beliebig verringert oder vergrössert werden kann; beide Spiegel können überdies mit einander um eine horizontale Axe gedreht werden. Oberhalb der Spiegel *s s*, die in Fig. 3 A mit der ganzen Versuchsvorrichtung im Aufriss, in B für sich im Grundriss gezeichnet sind, ist ein Spiegel *s'* befestigt, der um eine horizontale Axe drehbar ist. Die spiegelnden Flächen der Spiegel *s s* und *s'* sind sich zugekehrt. In angemessener Entfernung von *s'* ist das Fernrohr *f* aufgestellt, durch das der Beobachter sieht. Der Kopf des beobachteten Individuums ist hinter *s s* durch eine angemessene Vorrichtung, durch die Kinn und Nase unterstützt wird, so fixirt, dass das Bild seiner Augen von den Spiegeln *s s* entworfen wird. *s s* und *s'* werden so zu einander geneigt, dass das Bild in *s s* nach *s'* gelangt und dort mittelst des Fernrohrs beobachtet werden kann. In jedem der Spiegel *s s* wird, wenn deren Neigung zu einander eine gewisse Grösse hat, ein Bild von dem Gesicht des beobachteten Individuums entworfen. Verringert man die Neigung der Spiegel zu einander, so verschwindet allmälig an der Berührungskante der Spiegel, die den Winkel bildet, ein Theil jedes Bildes, bis schliesslich, wenn die Spiegel parallel liegen, nur noch ein Bild vorhanden ist, von dem jedem Spiegel eine Hälfte angehört. Man kann nun leicht die Spiegel unter einem solchen Winkel zu einander einstellen, dass von den beiden Bildern so viel vorhanden bleibt, um an den inneren sich zugekehrten Seiten der Bilder gerade noch die Hälften eines Auges sichtbar zu lassen. Man sieht dann im Ganzen drei Augen in den Spiegeln, eines im Spiegel zur Rechten, eines im Spiegel zur Linken des Beobachteten, und eines in der Mitte, von welchem jedem Spiegel eine Hälfte angehört. Das erste ist das Bild des rechten Auges, das zweite das Bild des linken Auges, das letzte aber ist aus einem halben rechten und einem halben linken Auge zusammengesetzt. Auf das Bild dieses zusammengesetzten Auges im Spiegel *s'* stellt man nun das Fernrohr ein, um es zu beobachten. Man sucht in jeder Hälfte des Bildes irgend einen

leicht kenntlichen Streifen, z. B. ein Bindehautgefäss oder einen Farbenstreifen der Iris, auf und merkt sich den Winkel, welchen beide Streifen mit einander bilden; jede Veränderung dieses Winkels kann dann leicht beobachtet und gemessen werden, wenn man am Ocular des Fernrohrs einen getheilten Kreis mit Zeiger anbringt, und den einen Faden des Fadenkreuzes im Fernrohr nach einander mit jedem der beiden beobachteten Streifen zusammenfallen lässt; übrigens ist, wie sich zeigen wird, eine solche Messung für die folgenden Versuche überflüssig, und genügt es vollkommen an der einfachen Beobachtung der Stellung, welche die zwei Streifen zu einander einnehmen, da bei dem Zweck, zu welchem diese Versuchsmethode hier angewandt worden ist, es immer nur darauf ankam, eine etwaige plötzliche Stellungsänderung der Streifen überhaupt wahrzunehmen. Eine genaue Bestimmung jener Winkel würde aber nothwendig sein, wenn man die vorliegende Versuchsmethode zur wirklichen Messung der combinirten Augenstellungen verwenden wollte. Es würde dieselbe aber in diesem Fall noch mannigfache Abänderungen nothwendig machen, namentlich würde es alsdann gerathen erscheinen, noch eine Vorrichtung anzuwenden, bei welcher die Augen für jede Versuchsreihe in einem bestimmten Convergenzgrad fixirt blieben, und dann zur Hervorrufung der bei diesem Convergenzgrad möglichen Sehaxenstellungen nicht die Augen sondern der Kopf um gemessene Winkel gedreht würde, weil man im entgegengesetzten Falle erst durch umständliche Berechnung aus den beobachteten Werthen die wirklichen Augenstellungen würde erhalten können.

Zur Entscheidung der Frage, ob die Stellungen jedes einzelnen Auges beim binokularen Sehen im Allgemeinen verschieden sind von denjenigen, welche bei monokularem Sehen demselben zukommen, bietet sich zunächst folgende Versuchsweise. Nachdem man die Augen des Beobachteten in der gehörigen Weise mittelst der Spiegel eingestellt hat, lässt man denselben das eine Auge schliessen; dann lässt man das geöffnete Auge durch Anbringung eines zu fixirenden Punktes in irgend eine Stellung sich bewegen, bei der eine erhebliche Drehung um die Sehaxe stattfindet. Man merkt sich die Lage, in die der beobachtete Streifen der Bindehaut oder Iris sich gedreht hat, und bringt denselben zum sicherern Festhalten nöthigenfalls mit einem Faden des Fadenkreuzes zur Deckung. Jetzt lässt man das geschlossene Auge öffnen und den gleichen Punkt durch dasselbe fixiren und beobachtet, ob das erstbeobachtete Auge hierbei seine Stellung verändert

hat. Es lässt sich bei dieser Versuchsweise niemals auch nur die geringste Stellungsänderung des Auges beim Eintritt des binokularen Sehaktes bemerken, der beobachtete Streifen behält fortwährend die gleiche Lage, so lange das eine oder beide Augen den markirten Punkt fixiren.

Eine zweite Versuchsweise ist folgende. Man spannt zwei parallele verticale Fäden im Sehfeld des Beobachteten auf und lässt diesen durch Schielen die Fäden zur stereoskopischen Deckung bringen. Hierauf stellt man das Augenbild zur Beobachtung ein. Ist dies geschehen, so verändert man die Richtung des einen Fadens um sehr weniges, so dass beide nicht mehr parallel sind, dass sie aber noch gut zur Deckung gebracht werden können. Beobachtet man nun während dieser Richtungsänderung des Fadens die Augen, so lässt sich auch hier nicht die geringste Stellungsänderung an denselben wahrnehmen. Hier ist also objektiv der Beweis geliefert, dass zwei Linien von wenig verschiedener Richtnng einfach gesehen werden können, obgleich ihre Bilder nicht auf correspondirenden Netzhautstellen entworfen werden. Beide Versuchsweisen beweisen unumstösslich, dass compensirende Augendrehungen zur Gleichstellung beider Augen nicht vorhanden sind, sondern dass jedes Auge beim binokularen Sehen genau die gleiche Lage einnimmt, die bei monokularem Sehen bei der vorhandenen Richtung der Sehaxe ihm zukommt.

Das Resultat dieser vorbereitenden Untersuchung ist nicht blos an sich von grosser Wichtigkeit, sondern es wird uns dasselbe auch im Folgenden noch häufig praktisch zu statten kommen, weil es uns erlaubt überall, wo sich der unmittelbaren Ermittelung der combinirten Augenstellungen Schwierigkeiten entgegensetzen, auf die Bestimmung der Stellungen jedes einzelnen Auges zurückzugehen, die immer verhältnissmässig leicht sich ausführen lässt. Streng genommen würden sogar die combinirten Augenstellungen jetzt eine besondere Untersuchung gar nicht mehr fordern, da sich in dieser Hinsicht Alles muss ableiten lassen aus den Thatsachen, die in Bezug auf das einzelne Auge ermittelt worden sind. In der That werden wir sehen, dass alle Versuche, die zur directen Bestimmung der combinirten Augenstellungen unternommen werden können, nur experimentelle Bestätigungen von Sätzen sind, die nach der Kenntniss der Stellungen des einzelnen Auges a priori sich einsehen lassen. Ich gehe deshalb hier nochmals auf die Untersuchung der Stellungen des einzelnen Auges zurück, um dem früher hierüber Erörterten einige für das combinirte Sehen wichtige Ergänzungen hinzuzufügen.

Gehen wir von der Ruhestellung des Auges aus, in welcher die Sehaxe gerade nach vorn gerichtet ist, so lässt die Richtung der Drehung, welche das Auge beim Uebergang aus dieser in irgend eine andere Stellung um seine Sehaxe erfährt, leicht sich festhalten. Bewegt sich das Auge nach innen (nasenwärts) und oben, so geschieht die Drehung so, dass das obere Ende des vorher verticalen Meridians der Netzhaut sich nach innen neigt; bewegt sich das Auge nach aussen (schläfenwärts) und oben, so erfährt derselbe Meridian umgekehrt eine Drehung nach aussen; geschieht die Bewegung nach innen und unten, so neigt sich der verticale Meridian der Netzhaut gleichfalls mit seinem oberen Ende nach aussen, und geschieht endlich die Bewegung nach aussen und unten, so ist die Neigung des genannten Meridians wieder nach innen gerichtet. Bei allen diesen Stellungsänderungen des Auges sind also die Drehungen um die Sehaxe von gleicher Richtung einerseits bei den Bewegungen nach aussen und oben und denen nach innen und unten, und andererseits bei den Bewegungen nach Innen und Oben und denen nach Aussen und unten. Man kann das ganze Gesetz am Einfachsten so ausdrücken: bei allen schrägen Bewegungen der Sehaxe nach oben ist die Drehung um die Sehaxe der Bewegung der Sehaxe gleich gerichtet, bei allen schrägen Bewegungen nach unten ist die Drehung um die Sehaxe der Bewegung der Sehaxe entgegengesetzt gerichtet. Strenge richtig ist dies Gesetz aber im Allgemeinen nur in Bezug auf Bewegungen von bedeutendem Umfang.

Wie verhält sich aber das Auge, wenn es nicht schräge Bewegungen ausführt, sondern wenn es in der verticalen oder horizontalen Ebene bleibt, die seine Anfangsstellung durchschneiden? Donders und Ruete haben angegeben, dass bei diesen Bewegungen gerade nach oben oder unten, sowie gerade nach aussen oder innen keine Drehung um die Sehaxe erfolge. Aus den Versuchen Meissner's über den Horopter war jedoch zu schliessen, dass solche Drehungen auch bei den Bewegungen gerade nach innen (den horizontalen Convergenzbewegungen des combinirten Sehens) erfolgen müssten, und Meissner hat dies in der That später durch nach anderer Methode angestellte Versuche bestätigt.*) Dagegen giebt auch

*) Zeitschrift f. rat. Med. 3. R. Bd. VIII. Die Methode, die früher schon von Fick zu Messungen angewandt wurde, besteht in der Bestimmung der Lageänderungen des blinden Flecks; sie erreicht jedenfalls die Methode der Nachbilder nicht an Genauigkeit. Donders und Ruete haben zwar die letztere angewandt, aber nicht in einer Weise, welche die

Meissner an, dass bei den Bewegungen gerade nach aussen, nach oben und nach unten keine auf die Sehaxe projicirte Drehung vorhanden sei.

Nach genauen Versuchen mit Nachbildern kann ich diese Angaben nicht bestätigen; ich finde vielmehr, dass bei sämmtlichen Horizontal- und Verticalbewegungen eine Drehung um die Sehaxe erfolgt, die zwar im Allgemeinen geringer ist als die Drehung bei den schrägen Bewegungen, aber doch bei einigermassen grösserem Bewegungsumfang hinreichend merkbar wird. Die Richtung dieser Drehung ist bei den einzelnen Bewegungen folgende: Bewegt sich das Auge gerade nach oben, so wird der verticale Meridian der Netzhaut etwas nach innen geneigt; bewegt sich das Auge gerade nach unten, so richtet sich der verticale Netzhautmeridian nach aussen; bei der Bewegung gerade nach Innen neigt sich der verticale Meridian nach Aussen, und bei der Bewegung gerade nach aussen neigt sich der verticale Meridian nach innen. Die Drehungen sind also von gleicher Richtung einerseits bei den Bewegungen nach oben und nach aussen und andererseits bei den Bewegungen nach unten und nach innen. Es ist ferner die Drehung bei den Bewegungen gerade nach oben und unten gleich gerichtet der Drehung bei den entsprechenden schrägen Bewegungen nach innen.

Mit der Drehung, die bei den horizontalen Bewegungen der Sehaxe vorhanden ist, hängt es wohl zum Theil zusammen, dass das oben für die schrägen Bewegungen aufgestellte Gesetz nur für einen bedeutenderen Bewegungsumfang Gültigkeit besitzt. Bei den Bewegungen der Sehaxe nach innen und oben (den Convergenzbewegungen nach oben) sind nämlich, wie man sieht, die Drehungen von entgegengesetzter Richtung als bei den Horizontalbewegungen nach innen. Bewegt man daher die Sehaxe so, dass sie wenig von der verticalen Bahn abweicht, so erhält man eine Drehung, die jener entgegengesetzt ist, welche bei schräger gehenden Bewegungen beobachtet wird. Ich werde auf diesen Punkt, der für einige Erschei-

---

Messung kleinerer Winkelabweichungen ermöglicht hätte. Donders drehte das Auge, bis ein in der Ausgangsstellung um einen bestimmten Winkel geneigtes Nachbild vertical war. (S. Holländische Beiträge von van Deen, Donders und Moleschott, Bd. I. S. 135). Ruete projicirte das Nachbild auf einen Transporteur, war also genöthigt, den Neigungswinkel im indirecten Sehen zu messen. (Ruete, Neues Ophthalmotrop S. 22.) Diese geringere Genauigkeit der Messungsmethode ist wahrscheinlich die Ursache, dass Beide die Drehungen bei der Vertical- und Horizontalbewegung der Sehaxe übersehen haben.

nungen des binokularen Sehens nicht ohne Wichtigkeit ist, weiter unten ausführlicher zurückkommen.

Es ergiebt sich aus den obigen Beobachtungen die wichtige Folgerung, dass es im Allgemeinen keine zwei Stellungen des Auges giebt, in welcher dasselbe nicht im Vergleich mit einer beliebig gewählten Ausgangsstellung eine Drehung um die Sehaxe erfahren hätte. Für sehr geringe Abweichungen des Auges aus der Anfangsstellung ist diese Drehung allerdings nicht mehr messbar, aber man kann annehmen, dass dies nur der Unvollkommenheit der Methoden zuzuschreiben ist, welche die Messung des Drehungswinkels erst zulässt, wenn derselbe eine gewisse Grösse erreicht. In Bezug auf das combinirte Sehen ist aber aus der obigen Thatsache zu schliessen, dass bei den meisten combinirten Augenstellungen irgend zwei Netzhautmeridiane im Vergleich mit einer beliebig gewählten Ausgangsstellung einen Winkel mit einander einschliessen, so dass eine Incongruenz in der Lage beider Augen vorhanden ist. Die Wahl der Ausgangsstellung, auf welche alle anderen Stellungen der Augen bezogen werden, ist wie gesagt von vornherein vollkommen willkürlich, es wird aber zweckmässig sein, für diese Untersuchungen diejenige Stellung zur Ausgangsstellung zu wählen, zu welcher die mechanische Analyse der Augenbewegungen und die physiologische Analyse der Gesichtsempfindungen hinführt. Beides trifft in diesem Fall zusammen und nöthigt uns diejenige Stellung zur Ausgangsstellung zu nehmen, die wir schon gelegentlich hierzu gewählt haben, nämlich die Stellung, in welcher die Sehaxen beider Augen in einer durch die Drehpunkte derselben gelegten Horizontalebene parallel und gerade nach vorn gerichtet sind.*) Dies ist für jedes einzelne Auge die Ruhestellung, in welcher sämmtliche Muskeln desselben unverkürzt bleiben, und für beide Augen ist es die Congruenzstellung, d. h. diejenige Stellung, bei welcher alle Strahlen, die von Punkten unendlicher Ferne kommen, in beiden Augen auf symmetrisch gelegenen Stellen sich abbilden.

---

*) Ich bemerke hier, um Missverständnissen vorzubeugen, dass im Folgenden überall die Annahme gemacht ist, Drehpunkt und Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen fielen in einen Punkt, den Mittelpunkt des sphärisch gedachten Augapfels, ich werde deshalb statt beider Bezeichnungen häufig auch schlechthin Mittelpunkt des Auges sagen. Diese Ungenauigkeit, deren Correction diese Untersuchungen zum Theil viel verwickelter machen würde, ist hier um so mehr erlaubt, als die dadurch bedingten Unrichtigkeiten so gering sind, dass sie bei der in diesem Gebiet möglichen Feinheit der Beobachtung nicht mehr in Rücksicht fallen.

Sobald beide Augen irgendwie aus dieser Stellung bewegt werden, erfährt jedes derselben eine Drehung um die Sehaxe, die nur in einem einzigen Fall in beiden gleich gerichtet und auch, wenn jedes einzelne Auge sich um den gleichen Winkel dreht, annähernd von gleicher Grösse ist, so dass dann trotz der Drehung um die Sehaxe die Congruenz in der Stellung beider Augen vorhanden bleibt. Dieser Fall tritt dann ein, wenn beide Augen in der Horizontalebene bleibend sich um gleiche Winkel nach rechts oder links drehen. Hierbei bewegt sich das eine Auge nach aussen, wenn das andere sich um gleich viel nach innen bewegt, und in beiden Augen ist daher die Drehung um die Sehaxe von gleicher Richtung und gleicher Grösse. Diese Horizontalbewegungen, bei denen die Sehaxen in unendliche Ferne gerichtet bleiben, sind aber die einzigen für die Augen überhaupt ausführbaren, wo in der beschriebenen Weise die Congruenz der Augenstellungen erhalten ist. Selbst bei den reinen Verticalbewegungen nach oben oder unten, bei denen gleichfalls der Blick in unendliche Ferne gerichtet bleibt, stellt sich eine Incongruenz ein, weil jedes Auge eine geringe Drehung um die Sehaxe erfährt und beide Drehungen nach entgegengesetzter Richtung gehen.

Nachdem jetzt das nothwendige vorbereitende Material gewonnen ist, gehe ich zur eigentlichen Untersuchung der combinirten Augenstellungen über. Wir sahen, dass der Winkel, um welchen das einzelne Auge sich um seine Sehaxe gedreht hat, direct beobachtet werden kann, wenn man die Netzhaut desselben auf eine zur Sehaxe fortwährend senkrecht bleibende Ebene projicirt denkt. Der Winkel, um welchen dann irgend ein Netzhautmeridian, den man durch Hervorrufung eines Nachbildes auf demselben kenntlich gemacht hat, beim Uebergang aus der Ruhestellung in die neue Lage sich drehte, ist unmittelbar der gesuchte Winkel. Aendert man nun die Lage der Projectionsebene, so dass sie nicht mehr zur Sehaxe senkrecht bleibt, so verändert man damit natürlich auch die scheinbare Grösse des Drehungswinkels, und es kann nun der wahre Drehungswinkel nicht mehr direct abgelesen, sondern aus dem beobachteten Winkel nur auf dem Wege der Rechnung erhalten werden, nachdem man zuvor die Lage der Projectionsebene ermittelt hat. Es ist nun klar, dass beim binokularen Sehen von einer directen Beobachtung des Winkels, um den sich jedes einzelne Auge gedreht hat, nicht die Rede sein kann, da es, parallele Stellung der Sehaxen ausgenommen, keine Ebene giebt, die gleichzeitig auf beiden Sehaxen senkrecht steht; es ist folglich auch unmöglich direct,

etwa an der Neigung von Nachbildern oder von Doppelbildern, die Stellung der beiden Augen zu einander zu beobachten, sondern man kann immer nur beide Winkelabweichungen auf irgend eine beliebig gewählte Ebene beziehen, die zu den auf die zwei Sehaxen senkrechten Ebenen eine bekannte Lage einnimmt.

Wir wählen im Folgenden hierzu diejenige Ebene, die auf der Halbirungslinie des Convergenzwinkels senkrecht steht. Diese Ebene, die zu beiden Sehaxen symmetrisch gelegen ist, nennen wir der Kürze halber binokulares Sehfeld, während wir als monokulares Sehfeld die auf der einzelnen Sehaxe senkrechte Ebene bezeichnen.*)

Es ist nun leicht einzusehen, dass die Drehungen, welche beide Augen um die Sehaxen erfahren haben, in der Projection auf das binokulare Sehfeld sich sehr verändern. Man denke sich in der Ruhestellung des Auges im monokularen Sehfeld eine verticale und horizontale Axe gezogen, die bei den Bewegungen des Auges sich mit diesem Sehfeld bewegt, entsprechende Axen denke man sich durch jedes binokulare Sehfeld gelegt. Bleibt nun das Auge bei seinen Bewegungen in der ursprünglichen Horizontalebene, so fällt fortwährend die verticale Axe der monokularen Sehfelder mit der verticalen Axe des binokularen Sehfeldes zusammen, und auch die horizontale Axe des monokularen Sehfeldes trifft, auf das binokulare Sehfeld projicirt, mit der horizontalen Axe des letztern zusammen: bei den Horizontalbewegungen giebt somit die in der Projection auf das binokulare Sehfeld beobachtete Drehung eines oder beider Augen unmittelbar die wirkliche Drehung um die Sehaxe an. — Aehnlich verhält es sich, wenn die Sehaxen in allen Stellungen die parallele Richtung beibehalten, da hier fortwährend das binokulare Sehfeld mit den monokularen Sehfeldern zusammenfällt.

Anders dagegen ist es, wenn die Augen sich in eine Convergenzstellung bewegen, die nicht in der ursprünglichen Horizontalebene liegt. Dies entspricht einer schrägen Stellung jedes einzelnen Auges. Denkt man sich in diese Stellung

*) Von Meissner (Zeitschr. f. rat. Med. Bd. VIII. p. 9) ist eine Ebene, die im fixirten Punkt senkrecht zur Visirebene steht und immer der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte parallel bleibt, als binokulares Sehfeld bezeichnet worden. Die Wahl dieser Ebene ist aber vollkommen willkürlich, sie besitzt keine Eigenschaft, wodurch sie in Bezug auf binokulares Sehen eine ähnliche Bedeutung erhielte, wie das monokulare Sehfeld für ein einzelnes Auge, ihre Wahl ist ferner deshalb unzweckmässig, weil sie bei den asymmetrischen Augenstellungen zu den beiden Sehaxen asymmetrisch gelegen ist.

das monokulare Sehfeld mitbewegt, so weicht die verticale und horizontale Axe desselben von der verticalen und horizontalen Axe des binokularen Sehfeldes ab, und die Projectionen der ersteren Axen auf dieses Sehfeld bilden mit den Axen des binokularen Sehfeldes Winkel von bestimmter Grösse. Projicirt man also den verticalen oder horizontalen Netzhautmeridian bei diesen schrägen Stellungen auf das binokulare Sehfeld, so sind diese Projectionen zu den Axen des Sehfeldes geneigt, und die Projectionen beider Augen weichen nach entgegengesetzten Richtungen von einander ab, auch wenn gar keine Drehung um die Sehaxe stattgefunden hat, und umgekehrt, wenn eine Drehung stattgefunden hat, kann dieselbe in der Projection auf das binokulare Sehfeld verschwinden, indem verticale und horizontale Meridianprojection der Netzhaut mit den entsprechenden Axen dieses Sehfeldes zusammenfallen. Ueberhaupt muss, wenn die Projectionen auf das binokulare Sehfeld allein beobachtet wurden, hieraus die wirkliche Drehung um die Sehaxe erst berechnet werden, umgekehrt können aber auch, wenn die Drehungen um die Sehaxe bekannt sind, hieraus die Projectionen auf das binokulare Sehfeld gefunden werden.

Mittelst Nachbildern lassen die letzteren Projectionen leicht unmittelbar experimentell sich ermitteln. Man verschafft sich zu diesem Zweck in der Ruhestellung des Auges ein verticales Nachbild von hinreichender Dauer und bestimmt die Winkelabweichung, die dasselbe in den verschiedenen Convergenzstellungen in seiner Projection auf eine zur Halbirungslinie des Convergenzwinkels senkrechte Ebene erfährt. Man muss hierbei nur im einen Auge sich ein Nachbild verschaffen, da bei einem gemeinsamen Nachbild die früher erwähnte stereoskopische Verschmelzung meist die Beobachtung hindert. Man findet auf diese Weise, dass bei der Bewegung gerade nach innen (der horizontalen Convergenz) der verticale Meridian nach aussen gedreht ist, ganz entsprechend der wirklich stattfindenden Drehung um die Sehaxe. Bei der Bewegung nach innen und oben (der Convergenz nach oben) ist der verticale Meridian nach aussen geneigt, also entgegengesetzt der wirklichen Drehung des Auges, wenigstens bei den stärkeren Convergenzgraden. Verwickelter ist die Sache bei der Bewegung nach innen und unten. In jeder Stellung der Visirebene unterhalb des Horizonts ist bei den schwächeren Convergenzgraden der verticale Meridian nach aussen geneigt, diese Neigung nimmt mit Zunahme der Convergenz zuerst zu,

dann aber ab, wird Null und geht endlich bei der stärksten Drehung des Auges in die Neigung nach innen über. Hier ist also bei den weniger umfangreichen Bewegungen die Neigung der Meridianprojection gleich gerichtet der wirklichen Drehung, bei den umfangreicheren Bewegungen aber entgegengesetzt gerichtet Dabei liegt aber der Punkt, wo die Neigung nach aussen in die Neigung nach innen übergeht, in den verschiedenen Stellungen der Visirebene an einem sehr verschiedenen Orte. Ist die Visirebene wenig unter den Horizont geneigt, so ist hierzu ein Bewegungsumfang des Auges erforderlich, bei dem gar keine symmetrische Convergenzstellung mehr möglich ist; bei stärkeren Neigungen der Visirbene tritt die Abweichung nach innen schon bei sehr geringem Contractionsumfange ein.

Es wurde oben erwähnt, dass auch bei den Bewegungen des Auges gerade nach oben und gerade nach unten sehr schwache Drehungen um die Sehaxe vorhanden sind. Diese Drehungen sind nun bei den Stellungen des Auges unter dem Horizont gleich gerichtet der Neigung, welche die Meridianprojection im binokularen Sehfeld bei geringeren Convergenzgraden zeigt. In den Stellungen der Augen unter dem Horizont hat daher die Meridianprojection eine Abweichung von der entsprechenden Axe des binokularen Sehfeldes erfahren, selbst im Parallelismus der Sehaxen, und zwar ist jene Abweichung immer nach aussen gerichtet. Bei der horizontalen Stellung der Visirebene ist, wenn die Sehaxen parallel gerichtet sind, keine Drehung um die Sehaxe vorhanden, daher auch keine Abweichung der Meridianprojection, diese beginnt erst bei einem bestimmten Grad der Convergenz, sie ist nach aussen gerichtet und wächst mit der Zunahme des Convergenzwinkels. Dagegen ist bei den Neigungen der Visirebene über dem Horizont und paralleler Stellung der Sehaxen die Drehung um die Sehaxe nach innen gerichtet. Auch die Meridianprojection auf das binokulare Sehfeld, das ja hier mit dem monokularen zusammenfällt, muss daher bei dieser Stellung die entsprechende Abweichung zeigen. Aber sobald die Sehaxen um ein Minimum convergiren, tritt alsbald die Abweichung nach aussen ein, die mit wachsender Convergenz in starkem Grade zunimmt.

Die obige Betrachtung über das Verhalten der Meridiane der Netzhaut in ihrer Projection auf das binokulare Sehfeld sind für das binokulare Sehen von grosser Bedeutung. Für dieses kommen die wirklichen Drehungen um die Sehaxe nicht in Betracht, da die monokularen Sehfelder, in welchen dieselben allein unmittelbar zu Tage treten, bei allen Convergenzen

für beide Augen verschieden sind. Unser gemeinsames Sehen beziehen wir, wo es sich nicht um Tiefenwahrnehmungen handelt, am einfachsten auf jene Ebene, die wir das binokulare Sehfeld genannt haben, wo eine andere Ebene in Betracht kommt, wie dies allerdings in unzähligen Fällen geschieht, lässt die hierdurch bedingte Veränderung in den Meridianprojectionen leicht sich bestimmen. Dabei ist die Wahl jenes binokularen Sehfeldes übrigens streng genommen willkürlich, denn wir können ja jede Ebene binokular betrachten und jedesmal werden die Netzhautbilder sich verschieden zu einander verhalten, aber es liegt doch die Wahl jener auf die Halbirungslinie des Convergenzwinkels senkrechten Ebene am nächsten, weil sie die einzige Ebene ist, die symmetrisch zu den beiden Sehaxen steht, und für die jedes Auge sich gleichmässig zum deutlichen Sehen accommodiren kann. Aber die Abweichungen der Meridianprojectionen auf diese Ebene, wie auf jede andere gemeinsame Sehebene sind nicht zu verwechseln mit der wirklichen Drehung um die Sehaxe. Es ist, wie erörtert, eine Abweichung der Meridianprojectionen zu finden, wenn gar keine Drehung um die Sehaxe vorhanden ist, und es giebt umgekehrt eine gewisse Grösse der Drehung, bei der keine Abweichung der Meridianprojectionen besteht. Die Drehung um die Sehaxe ist nur von Einfluss auf diese Abweichung, die aber überdies durch die Lage der betreffenden Ebene bestimmt wird*).

---

*) Ich hebe dies besonders deshalb hervor, weil zuweilen eine auf die Sehaxe projicirte Drehung in Bezug auf binokulares Sehen der auf die Sehaxe projicirten Drehung in Bezug auf monokulares Sehen, unter welcher letztern man die wirkliche Drehung um die Sehaxe verstand, entgegengesetzt wurde. Eine solche Bezeichnung kann zu Missverständnissen Veranlassung geben. Es giebt nur eine auf die Sehaxe projicirte Drehung, und diese kann unmittelbar beobachtet werden, wenn man das Netzhautbild projicirt auf eine zur Sehaxe senkrechte Ebene (das sog. monokulare Sehfeld), projicirt man das Netzhautbild auf irgend eine andere Ebene, so kann man damit die Drehung des Auges auf eine andere Drehungsaxe, die zur gewählten Ebene senkrecht steht, projicirt denken, wie ja überhaupt die Wahl der Drehungsaxe im Auge streng genommen ganz willkürlich ist, man kann aber in diesem Fall nicht mehr von einer auf die Sehaxe projicirten Drehung reden. Ueberdies schliesst der Ausdruck „Drehung um die Sehaxe in Bezug auf binokulares Sehen“ die Missdeutung in sich, als wenn das binokulare Sehfeld ein fest bestimmtes sei, was, wie oben bemerkt, keineswegs der Fall ist, sondern man muss in jeder beliebigen Lage des Auges sich die Netzhautmeridiane auf jede beliebige gemeinsame Sehebene projicirt denken, wenn man das Material für die Beantwortung aller Fragen, die beim binokularen Sehen in Betracht kommen, gewinnen will, aber es ist für diese Untersuchung allerdings bequem, von einer bestimmten gemeinsamen Sehebene auszugehn, und es liegt bei dieser Wahl am nächsten diejenige Ebene zu nehmen, die wir oben als binokulares Sehfeld bezeichnet haben.

Man kann nun die Abweichung der Meridianprojectionen im binokularen Sehfeld unmittelbar bestimmen, indem man direct den Winkel misst, den eine derselben mit der entsprechenden Axe des Sehfeldes einschliesst. Man kann aber auch auf indirectem Wege jene Abweichung bestimmen, indem man den Winkel misst, um welchen das binokulare Sehfeld um eine auf der ersten senkrecht stehende Axe gedreht werden muss, damit die Abweichung zum Verschwinden komme. Diese Methode ist einer grösseren Schärfe fähig, ich will daher die nach derselben anzustellenden Versuche hier etwas näher erörtern, da ausserdem diese Versuche unmittelbar Aufschluss geben über die Art, wie die Abweichung der Meridianprojectionen sich ändert, wenn man die Lage der Projectionsebene ändert.

Zur Beobachtung der Projectionen irgend welcher Netzhautmeridiane auf beliebige Ebenen eignen sich complementäre Nachbilder. Man befestige auf einem violetten Papierbogen einen feinen gelben Streifen z. B. in verticaler Richtung und bringe den Papierbogen in eine solche Entfernung, dass der gelbe Streifen von beiden Augen in einer schwachen Convergenzstellung fixirt wird. Betrachtet das ausgeruhte Auge diesen Streifen in vollkommen starrer Haltung 10—15 Secunden lang, so wird ein complementäres Nachbild desselben von hinreichender Intensität und Dauer hervorgerufen. Schiebt man vor den violetten Bogen plötzlich ein weisses oder graues Papier, so erscheint das Nachbild auf demselben als intensiv violetter verticaler Streifen. Hat man auf dem weissen Papier eine verticale Linie gezogen, die mit dem Nachbild zusammenfällt, so lässt sich, wenn man die Augen in eine andere Stellung bewegt, oder wenn man die Lage der Projectionsebene ändert, leicht die Abweichung des Nachbildes des einen Auges von Verticalismus, während man das andere geschlossen hält, genau erkennen, und es lässt sich die Veränderung jener Abweichung, wenn man die Projectionsebene dreht, leicht beobachten. Die Nachbilder beider Augen gleichzeitig zu beobachten geht in diesem Fall deshalb nicht an, weil wieder die stereoskopische Verschmelzung der Nachbilder daran hindert.

Man kann sich die hier zur Anwendung kommenden Gesetze der perspectivischen Projection am anschaulichsten vorführen, wenn man nicht die Lage des Auges und des binokularen Sehfeldes verändert, sondern beide in ihrer Anfangstellung lässt und sich unmittelbar ein Nachbild producirt, das um irgend einen willkürlich gewählten Werth von der verticalen oder horizontalen Richtung abweicht, und wenn man dann diese

Abweichung durch Drehung des binokularen Sehfeldes verändert. Man klebt also den gelben Streifen in schiefer Richtung auf, schiebt, nachdem er hinreichend lange fixirt wurde, den weissen Papierbogen vor ihn und dreht dann diesen um seine verticale oder horizontale Axe.

Bei der letztgenannten Versuchsweise ist es auch möglich, die Veränderungen der Meridianprojectionen beider Augen gleichzeitig zu beobachten. Man befestige zwei gelbe Papierstreifen in einem Abstand von einander, der nahezu der Distanz der Augen entspricht, und gebe beiden eine bestimmte Neigung zu einander. Man fixire dann mit jedem Auge einen der Streifen, während man zwischen dieselben eine Scheidewand hält, um Doppelbilder zu verhindern. Hat man hinreichend lange fixirt, so entfernt man die Scheidewand und schiebt den Papierbogen vor. Fixirt man jetzt einen bestimmten Punkt, so kreuzen sich die zwei Nachbilder in diesem, und man kann den Winkel des Kreuzes durch Drehung des Bogens beliebig verändern oder ganz zum Verschwinden bringen.

Zieht man nur ein einzelnes Auge in Betracht, so lässt sich die Abweichung jeder einzelnen Meridianprojection von der entsprechenden Axe des binokularen Sehfeldes durch eine bestimmte Drehung des letzteren um eine auf die erste senkrechte Axe zum Verschwinden bringen. Der Winkel, welchen die Projection des verticalen Meridians mit der verticalen Axe der Ebene einschliesst, wird z. B. zu Null, wenn man dieselbe um ihre horizontale Axe nach der geeigneten Richtung hin um einen bestimmten Winkel dreht. Hierbei ist aber der Winkel, welcher die Projection des horizontalen Meridians mit der horizontalen Axe der Ebene einschliesst, nahezu unverändert geblieben. Wollte man diesen zum Verschwinden bringen, so müsste man umgekehrt die Ebene von ihrer Anfangsstellung aus um ihre verticale Axe um den gleichen Winkel drehen, und dann wäre die Neigung des verticalen Meridians nahezu unverändert geblieben. Auf diese Weise kann die Winkelabweichung jedes beliebigen Meridians einzeln zum Verschwinden gebracht werden, vorausgesetzt, dass dieselbe (was beim Auge natürlich niemals auch nur annähernd erreicht wird) nicht über 45^0 beträgt, in diesem Fall bekommt nämlich die Drehung der Projectionsebene den Grenzwerth von 90^0; ein Neigungswinkel über 45^0 könnte durch Drehung der Ebene nicht mehr zum Verschwinden gebracht werden, durch Drehung in entgegengesetzter Richtung würde aber ein Punkt erreicht werden können, wo das Bild des beobachteten Meridians mit der entgegengesetzten Axe der Projectionsebene zusammenfiele.

Was die Richtung betrifft, in welcher die Projectionsebene gedreht werden muss, um eine bestimmte Veränderung der Meridianprojection herbeizuführen, so gilt darüber Folgendes: Wir wollen der Kürze halber den Winkel des verticalen Meridians mit der Verticalaxe der Projectionsebene positiv nennen, wenn der über der Horizontalebene gelegene Winkelschenkel nach aussen gekehrt ist, und negativ, wenn derselbe Winkelschenkel nach innen geht; den Winkel des horizontalen Meridians mit der horizontalen Axe der Projectionsebene wollen wir positiv nennen, wenn der rechts gelegene Winkelschenkel nach oben gerichtet ist, und negativ im entgegengesetzten Falle. Wir wollen ferner die Drehung um die horizontale Axe positiv nennen, wenn dieselbe so gerichtet ist, dass das obere Ende der Projectionsebene sich vom Auge entfernt, negativ die umgekehrte Drehung, die Drehung um die verticale Axe sei positiv, wenn sich dabei die rechte Seite der Projectionsebene vom Auge entfernt, und negativ im umgekehrten Falle. Es wird dann jeder positive Winkel zwischen 0 und 45^0 durch eine positive Drehung; jeder negative Winkel durch eine negative Drehung um die entgegengesetzte Axe verkleinert und schliesslich zum Verschwinden gebracht; vergrössert dagegen wird jeder Winkel durch eine Drehung von entgegengesetztem Zeichen. Ist also z. B. der verticale Meridian nach aussen geneigt, so muss die Projectionsebene vom Auge weggedreht werden, um diese Neigung zum Verschwinden zu bringen, ist derselbe Meridian nach innen geneigt, so muss umgekehrt die Projectionsebene dem Auge zugedreht werden, u. s. f. Hieraus ergeben sich von selber die Lagen der Projectionsebene, in Bezug auf welche bei den verschiedenen Convergenzstellungen des Auges die oben ihrer Richtung nach angegebenen Abweichungen des verticalen und des horizontalen Netzhautmeridians des einzelnen Auges vergrössert oder verringert werden oder ganz verschwinden, und es lässt sich demgemäss die Lage der genannten Meridianprojectionen für jede Ebene angeben, wenn die Lage bekannt ist, welche diese Ebene zum binokularen Sehfelde einnimmt.

Wenn, wie wir sahen, die Abweichung jeder Meridianprojection von der ihr entsprechenden Axe der Projectionsebene einzeln aufgehoben werden kann, so folgt nun, dass es eine bestimmte Lage der Projectionsebene giebt, in welcher die Winkelabweichung für sämmtliche Meridiane der betreffenden Netzhaut gleichzeitig verschwindet, und dass diese Ebene bestimmt ist, sobald man den Winkel kennt, um welchen das binokulare Sehfeld um eine bestimmte Axe zur Aufhebung der

Abweichung einer einzigen Meridianprojection gedreht werden muss. Es ist nämlich von vornherein klar, dass es irgend eine Fläche geben muss, welche die erwähnte Eigenschaft besitzt; denn giebt man der Projectionsebene nach einander die Stellungen, in welcher immer die Winkelabweichung eines bestimmten Netzhautmeridians aufgehoben ist, und denkt man sich jedes Mal den zusammenfallenden Ort der Meridianprojection und der entsprechenden Axe der Projectionsebene fixirt, so werden alle diese succesiv erhaltenen Linien zusammen eine Fläche bilden, auf welcher die Winkelverschiebungen aller Meridianprojectionen gleichzeitig verschwinden. Diese Fläche kann aber offenbar nur eine ebene Fläche sein. Denn geht man von dem binokularen Sehfelde aus, so sind, da die Winkelabweichungen aller Meridianprojectionen hier einander gleich sind, auch die Winkel, um welche man jedes Mal die Ebene um die entsprechende Axe drehen muss, damit die Winkelabweichung aufgehoben wird, einander gleich. Linien, die in einer Ebene gelegen sind, müssen aber, wenn sie in dieser Weise um gleiche Winkel gedreht werden, nach der Drehung wieder in einer Ebene liegen. Eine Ebene ist aber bekanntlich bestimmt, sobald man zwei Durchschnittslinien derselben kennt, und selbst dies reducirt sich in dem gegenwärtigen Fall, wo man vom binokularen Sehfelde ausgeht, auf eine einzige Bestimmung für eine beliebig gewählte Meridianprojection.

Gehen wir hiervon über zu dem uns interessirenden Fall, wo die Meridianprojectionen beider Augen gleichzeitig auf das binokulare Sehfeld entworfen werden. In den meisten Augenstellungen bilden die entsprechenden Meridianprojectionen beider Augen Winkel mit einander, und es ist von vornherein klar, dass diese Winkel durch geeignete Drehung des binokularen Sehfeldes vergrössert, verkleinert oder auch zum Verschwinden gebracht werden können. Es wird ferner auch hier eine Ebene geben, in welcher die gegenseitige Winkelabweichung aller Meridianprojectionen verschwindet, da nachgewiesen werden kann, dass die Winkelabweichung je zweier zusammengehöriger Projectionen einzeln aufgehoben werden kann, wenn man das binokulare Sehfeld in der geeigneten Richtung um einen bestimmten Winkel dreht. Wir werden uns bei diesem Nachweis übrigens auf zwei Paare von Meridianprojectionen beschränken können, da damit nicht nur der Beweis für alle andern geliefert sondern auch die Lage der Projectionsebene, in Bezug auf welche alle Winkelabweichungen aufgehoben sind, bestimmt ist.

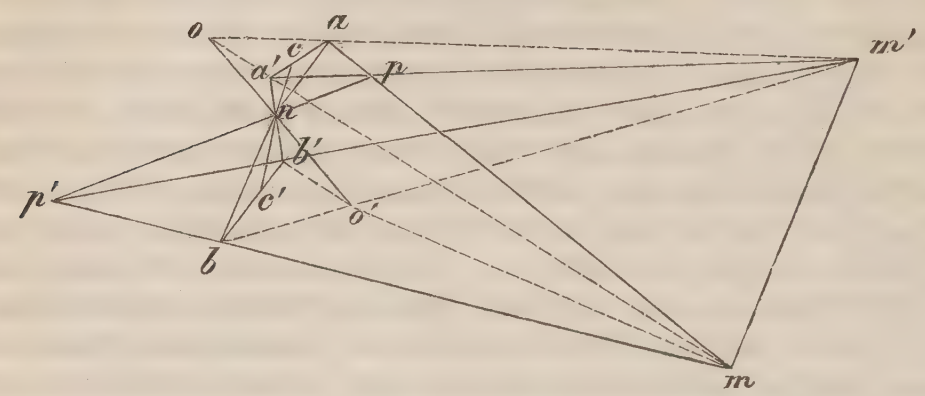
Wählen wir hierzu die Projectionen der in der Ruhestellung verticalen und horizontalen Meridiane, so ist für die ersteren

die Veränderung des Winkels der Meridianprojectionen mit der Lageänderung der Projectionsebene leicht ersichtlich. Nehmen wir zunächst die symmetrischen Augenstellungen, bei denen die verticalen Meridianprojectionen beider Augen so sich kreuzen, dass sie gleiche Winkel mit der verticalen Axe des binokularen Sehfeldes bilden. Hier beträgt also der Winkel der Meridianprojectionen mit einander das Doppelte des Winkels, welchen jede einzelne mit der Axe einschliesst, und, wenn das binokulare Sehfeld um seine horizontale Axe gedreht wird, so verändern beide Winkel sich vollkommen entsprechend, so dass beide gleichzeitig zum Verschwinden kommen. Es ist also hier alles durch die Untersuchung der einzelnen Meridianprojection bereits bestimmt. — Wenn die Augenstellung eine asymmetrische ist, so sind die Winkel, welche die Meridianprojectionen mit der verticalen Axe des binokularen Sehfeldes einschliessen, hingegen von ungleicher Grösse; es kann daher hier der Winkel, um welchen das Sehfeld zur Aufhebung der gegenseitigen Winkelabweichung gedreht werden muss, nicht mehr gleich sein dem Winkel, der die Abweichung des verticalen Meridians der einzelnen Netzhaut zum Verschwinden bringt, denn dieser Winkel ist ja bei beiden Augen verschieden; aber es ist leicht einzusehen, dass es auch hier eine bestimmte Lage der Projectionsebene giebt, in welcher die Bilder zweier correspondirender Netzhautmeridiane zusammenfallen, und zwar ist der Winkel, um welchen man die Ebene drehen muss, damit sie in diese Lage komme, genau das arithmetische Mittel aus den Winkeln, um welche dieselbe zur Aufhebung der Abweichung jedes einzelnen Meridians gedreht werden musste. Auch hier halbirt der geometrische Ort, welchen die zusammenfallenden Meridianprojectionen in der neuen Lage der Ebene einnehmen, den Winkel, welchen dieselben bei ihrer Divergenz in der frühern Lage der Ebene bildeten, aber die Halbirungslinie fällt hier nicht wie bei den symmetrischen Augenstellungen mit der entsprechenden Durchschnittslinie der Projectionsebene zusammen, sondern weicht von derselben nach der Seite hin ab, wo der Meridian mit der grösseren Winkelabweichung liegt. Es kann also bei den asymmetrischen Augenstellungen wohl die Disorientirung der zwei verticalen Meridiane gegen einander durch Projection aufgehoben werden, nicht aber gleichzeitig die Disorientirung in Bezug auf die ursprünglichen Raumverhältnisse des Sehfeldes.

Es lässt sich nun leicht in jedem einzelnen Falle bei gegebenem Winkel, den die verticalen Meridianprojectionen mit einander im binokularen Sehfeld einschliessen, durch Con-

struction die Lage der Ebene finden, für welche die Winkelabweichung jener Meridianprojectionen verschwindet. Es sei, Fig. 4, m der Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen des linken

Fig. 4.



Auges, m' derselbe im rechten Auge, n sei der Fixationspunkt. Es seien nun z. B. in einem ersten Fall die Meridianprojectionen im binokularen Sehfeld nach innen geneigt, so dass $a\,b$ die dem Auge m angehörige, $a'\,b'$ die dem Auge m' angehörige Projection ist. Man findet den Ort, wo die Projectionen zweier entsprechender Punkte a, a' und b, b' zusammentreffen, wenn man von m und m' aus nach diesen Punkten Linien zieht, der Ort, wo die Projectionslinien sich durchschneiden, ist der gesuchte. Der Ort, wo alle zusammengehörigen Punkte der Linien $a\,b$ und $a'\,b'$ in ihren Projectionen zusammentreffen, ist in einer Linie $p\,p'$ gelegen, deren Winkel mit $c\,c'$, der verticalen Axe des binokularen Sehfeldes, leicht zu berechnen ist. — Sind in einem zweiten Fall die Meridianprojectionen im binokularen Sehfeld nach aussen geneigt, so dass also $a'\,b'$ die dem Auge m angehörige, $a\,b$ die dem Auge m' angehörige Projection ist, so ist die Linie $o\,o'$, die nach der entgegengesetzten Seite von $c\,c'$ geneigt ist der Ort, wo die Meridianprojectionen zusammentreffen.

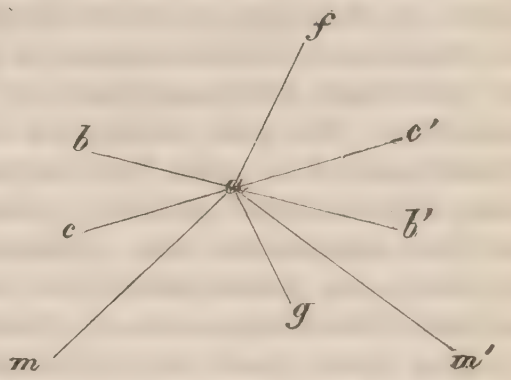
Die Bestimmung des Ortes, wo die horizontalen oder überhaupt irgend zwei andere zusammengehörige Meridianprojectionen sich schneiden, ist etwas verwickelter. Wir sahen, dass allgemein, wenn das binokulare Sehfeld um seine verticale Axe gedreht wird, die Meridianprojectionen mit demjenigen Ende, welches auf der vom Angesicht weggedrehten Seite des Sehfeldes liegen, sich nach unten, mit dem Ende, welches dem Angesicht zugekehrt wird, sich nach oben drehen: die Lageänderung der entsprechenden Meridianprojectionen ist also für

beide Augen die gleiche, und der Ort, wo z. B. bei symmetrischer Augenstellung die horizontalen Meridianprojectionen zusammentreffen, ist daher keineswegs gleich dem Orte, wo die einzelne Meridianprojection in die horizontale Axe des Sehfeldes fällt. Es ergiebt sich jedoch in diesem Fall die Bestimmung des gesuchten Ortes mit Hülfe des folgenden Satzes.

Wenn man die Meridianprojection eines Auges sammt dem Sehfeld, auf das sie projicirt ist, um eine Axe dreht, die gleichzeitig auf der Meridianprojection und der Sehaxe senkrecht steht, d. h. also um eine Axe senkrecht auf einer durch die Sehaxe und die Meridianprojection gelegten Ebene, so verändert während dieser Drehung die Meridianprojection ihre Lage auf der Projectionsebene nicht.

Es sei, Fig. 5., a der fixirte Punkt, $m\ a$ die Sehaxe des linken, $m'\ a$ die des rechten Auges, $b\ b'$ sei die horizontale Meridianprojection des ersten, $c\ c'$ die des zweiten Auges; die Lage von $b\ b'$ bleibt constant, wenn man die Ebene um die Axe $a\ f$, die zur Ebene $b\ a\ m$ senkrecht steht, dreht, die Lage von $c\ c'$ bleibt constant, wenn wenn man die Ebene um die Axe $a\ g$ dreht, die zur Ebene $c'\ a\ m'$ senkrecht steht. Denkt man sich nun beide Drehungen gleichzeitig vorgenommen, so erhält man zwei gleiche Kreise mit zusammenfallendem Mittelpunkt, die zu einander geneigt sind, und von denen jedem Auge einer angehört. Der Durchmesser, in welchem diese Kreise sich schneiden, ist ein Ort, wo die beiden horizontalen Meridianprojectionen zusammenfallen.

Fig. 5.



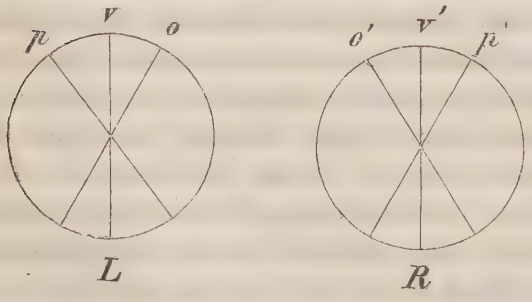
Damit ist also ein Ort für die Deckung der horizontalen Meridianprojectionen gefunden. Man sieht aber leicht ein, dass es noch einen zweiten solchen Ort geben muss, der durch den ersten schon bestimmt ist. Dreht man nämlich das binokulare Sehfeld so um seine verticale Axe, dass die eine Seite derselben, z. B. die linke, sich vom Antlitz wegkehrt, so schneidet die Ebene den Durchmesser der obigen Kreise bei einer bestimmten Stellung. Nun hat aber in dieser Stellung die Projectionsebene zum linken Auge dieselbe Lage, die sie zum rechten einnimmt, wenn man das binokulare Sehfeld in der umgekehrten Richtung um den gleichen Winkel gedreht hätte, und in dieser

zweiten Stellung hat die Projectionsebene zum linken Auge dieselbe Lage, die sie zuvor zum rechten einnahm; wenn also in der ersten Stellung die Winkelabweichung der Meridianprojectionen aufgehoben wurde, so wird sie es auch in der zweiten zur ersten symmetrischen Stellung. Man kann den Ort, wo jetzt die Meridianprojectionen zusammentreffen, construiren, wenn man die Meridianprojectionen vertauscht denkt, so dass die dem linken Auge angehörige auf das rechte bezogen wird und umgekehrt; denkt man sich dann in ähnlicher Weise wie oben die Kreisflächen beschrieben, so schneiden sich dieselben in einem zweiten Durchmesser, und dieser Durchmesser hat zur Medianebene dieselbe Lage wie der erste, er liegt nur auf der entgegengesetzten Seite.

Es giebt somit für die zwei horizontalen Meridianprojectionen zwei Orte, wo dieselben zusammenfallen. Dasselbe lässt sich für jedes andere Paar von Meridianprojectionen beweisen mit Ausnahme der verticalen: für jedes Paar giebt es zwei symmetrisch zu einander gelegene Deckungslinien, und alle diese Deckungslinien bilden zusammen zwei Ebenen, welche sich in der einfachen Deckungslinie der verticalen Meridiane durchschneiden. Es giebt daher zwei Ebenen, in welchen die Winkelabweichung aller Meridianprojectionen verschwindet, und diese Ebenen sind bestimmt, sobald man ausser dem Ort für das Zusammenfallen der verticalen Meridianprojectionen noch die Orte des Zusammenfallens zweier andern z. B. der horizontalen Meridianprojectionen kennt.

Man kann ausser durch Nachbilderversuche, bei denen man beliebige Netzhautmeridiane in beliebiger Weise unmittelbar nach aussen projicirt, alle oben erörterten Thatsachen auch nachweisen, indem man die Doppelbilder linearer Objecte beobachtet, und diese Versuchsmethode ist deshalb von besonderem Interesse, weil die mit ihr erhaltenen Resultate unmittelbar sich für die Beantwortung mehrerer Probleme des binokularen Sehens verwenden lassen. Um die hier zu beobachtenden Thatsachen mit den Nachbilderversuchen vergleichbar zu machen, ist Folgendes zu bemerken.

Fig. 6.



Es seien Fig. 6. R u. L die Projectionen der rechten und linken Netzhaut auf das binokulare Sehfeld. Es seien die verticalen Meridiane v, v' in diesen Projectionen nach

aussen gedreht, so dass sie die Lage p, p' einnehmen. Die verticalen Meridianprojectionen werden unmittelbar in dieser Lage beobachtet, wenn in der Ruhestellung der Augen verticale Nachbilder erzeugt wurden. Wird dagegen eine verticale Linie fixirt, so erscheint dieselbe in der Ruhestellung, wie das Nachbild, vertical, ihre Bilder fallen gleichfalls nach v und v'; geht man aber in eine Convergenzstellung über, bei der v und v' in der Projection auf das binokulare Sehfeld nach p und p' gelangt sind, so erscheint die Linie nicht mehr vertical sondern in gekreuzten Doppelbildern. Ihr Bild fällt nämlich wie vorher nach v und v', in v, v' liegen aber nicht mehr die verticalen Meridiane, sondern, bei der hier stattgehabten Drehung der Projection nach aussen, Meridiane o, o', die in der Ruhestellung um denselben Winkel nach innen von v, v' wie p und p' nach aussen von v, v' liegen. Die Doppelbilder eines linearen Objectes sind somit nach der entgegengesetzten Richtung geneigt als die Meridianprojectionen und die ihnen entsprechenden Nachbilder, der Winkel aber, den die Doppelbilder einschliessen, ist dem Winkel zwischen den Meridianprojectionen gleich.

Um nun den Winkel zwischen den Doppelbildern in beliebiger Weise zu verändern oder ganz zum Verschwinden zu bringen, hat man die Lage des binokularen Sehfeldes ebenso zu verändern, wie bei der Aenderung der Meridianprojectionen. Sind z. B. die Doppelbilder einer verticalen Linie nach innen geneigt, so können dieselben zur Vereinigung gebracht werden, wenn man das binokulare Sehfeld so um seine horizontale Axe dreht, dass es mit seinem obern Ende sich vom Angesicht entfernt, denn bei dieser Drehung wird das Bild auf jeder Netzhaut etwas nach aussen gedreht und fällt daher bei einer bestimmten Stellung der Ebene endlich auf die ursprünglich verticalen correspondirenden Meridiane der Netzhaut. Wir sahen aber, dass die Ebene, um die entsprechende Winkelabweichung der Meridianprojectionen zum Verschwinden zu bringen, ganz ebenso gedreht werden musste: die Meridianprojectionen sind nämlich, wie wir sahen, nach aussen geneigt, wenn die Doppelbilder nach innen geneigt sind, um aber die Neigung der verticalen Meridianprojectionen nach aussen aufzuheben, muss, wie oben gezeigt wurde, die Projectionsebene mit ihrem obern Ende vom Auge weggedreht werden. Es lässt sich auch leicht zeigen, dass der Winkel, um welchen zu diesem Zweck das binokulare Sehfeld gedreht werden muss, im einen wie im andern Fall gleich gross ist, so wie dass überhaupt bei jeder Stellung der Projectionsebene der Winkel zwischen den Doppelbildern eines in ihr befindlichen linearen

Gegenstandes und zwischen den Meridianprojectionen gleich ist. Man denke sich, statt, wie sie es wirklich sind, die Meridianprojectionen sich bei den Stellungsänderungen der Projectionsebene gegen einander drehend vorzustellen, diese Meridianprojectionen ruhend, und dagegen die entsprechenden Durchschnittslinien der Projectionsebene sammt dieser Ebene sich so gegen einander drehend, als wenn es sich kreuzende Doppelbilder eines Objectes wären. Es seien z. B. die verticalen Meridiane nach innen geneigt, so müsste die Ebene, wenn die von den Meridianprojectionen gedeckten Durchschnittslinien von Doppelbildern herrührten, mit ihrem obern Ende vom Auge weggedreht werden. Denkt man sich nun die Durchschnittslinien der Projectionsebene in Wirklichkeit so gegen einander gedreht und über einander verschoben, wie es der Drehung der Doppelbilder entspricht, so würden nach dieser Drehung die Meridianprojectionen auf Durchschnittslinien zu liegen kommen, deren jede bei der anfänglichen Lage der Ebene um die Hälfte des Winkels, den die Meridianprojectionen mit einander bilden, von jeder Meridianprojection nach aussen lag. Da nun aber in Wirklichkeit die Meridianprojectionen in der Anfangsstellung der Ebene nach der entgegengesetzten Richtung um den gleichen Winkel wie die Doppelbilder geneigt sind, so werden somit auch in jeder zweiten Stellung die Doppelbilder denselben Winkel mit einander einschliessen wie die Meridianprojectionen, aber nach der entgegengesetzten Richtung geneigt sein, und bei der gleichen Stellung der Ebene, wo die Meridianprojectionen zusammenfallen, werden auch die Doppelbilder zur Vereinigung kommen. Bezeichnet man die Ebene, in welcher sich die Gegenstände, deren Doppelbilder beobachtet werden, befinden, als Objectebene, so lässt sich sonach in einer beliebig gewählten Objectebene die Neigung der Doppelbilder leicht bestimmen, wenn man die Neigung der Meridianprojectionen in der entsprechenden Projectionsebene kennt, und ebenso umgekehrt. Vertauscht man die Meridianprojectionen beider Augen mit einander, so hat man die Projectionsebene zur Objectebene gemacht, und vertauscht man die Doppelbilder beider Augen mit einander, so hat man die Objectebene zur Projectionsebene gemacht.

Ebenso lässt sich nun leicht aus der Neigung der Doppelbilder die Lage der Ebene finden, in welcher die Doppelbilder zusammenfallen. Ist z. B. Fig. 4. $a\,b$ das Doppelbild des Auges m, $a'\,b'$ das Doppelbild des Auges m', so zieht man von jedem Auge aus Projectionslinien nach dem Doppelbild des andern Auges, also von m nach $a'\,b'$ und von m' nach $a\,b$: die Linie $o\,o'$,

in welcher sämmtliche Projectionslinien sich schneiden, ist dann die Linie, in welcher das Object liegen muss, um einfach gesehen zu werden.

Wenn es sich um die Ermittelung der combinirten Augenstellungen handelt, so genügt es, für jedes Auge die Winkelabweichung einer einzigen beliebig gewählten Meridianprojection von der entsprechenden Axe des binokularen Sehfeldes zu bestimmen, da hieraus alle weiteren Folgerungen abgeleitet werden können, und zwar wählt man zu diesem Zweck am besten die Projection des verticalen Meridians, da dessen experimentelle Ermittelung immer am einfachsten ist. Zu dieser Ermittelung ergeben sich mit Rücksicht auf das früher Erörterte folgende Methoden: Man kann erstens den Winkel benutzen, welchen ursprünglich verticale Nachbilder beider Augen projicirt auf das binokulare Sehfeld mit einander einschliessen (der aber aus früher angegebenen Gründen nur durch successive Beobachtung zu erhalten ist), man kann zweitens den Winkel messen, welchen die Doppelbilder einer binokular gesehenen verticalen Linie einschliessen. Ausser diesen zwei directen Methoden giebt es noch zwei indirecte: man kann nämlich die Augenstellung finden drittens aus dem Winkel, um welchen das binokulare Sehfeld um seine horizontale Axe gedreht werden muss, damit seine Lage mit der Tiefenrichtung des gemeinsamen verticalen Nachbildes beider Augen zusammenfalle, und viertens den Winkel, um welchen das binokulare Sehfeld um seine horizontale Axe gedreht werden muss, damit die Doppelbilder einer verticalen Linie zur Vereinigung kommen.

Es sei φ der Winkel, um welchen in den letzteren Fällen das binokulare Sehfeld zu drehen ist, α sei der Winkel zwischen den einzelnen Nachbildern oder den Doppelbildern, es sei ferner s die Entfernung des fixirten Punktes und g die halbe Distanz der Augenmittelpunkte (im Mittel ungefähr = 30 Mm.), so ist

$$\text{tgt. } \varphi = \frac{s}{g. \cot. \frac{\alpha}{2}}$$

Aus dieser Formel kann φ gefunden werden, wenn α bekannt ist, und umgekehrt kann daraus α bestimmt werden, wenn φ ermittelt wurde.

Von den oben angeführten Methoden ist die zweite und dritte zu genaueren Messungen nicht geeignet, weil bei jener nicht mit hinreichender Schärfe sich bestimmen lässt, wann das stereoskopisch vereinigte Nachbild in der Projectionsebene liegt, und weil bei dieser es sich meistens um die Messung

äusserst kleiner Winkel handelt, bei denen ebenfalls eine Neigung zur stereoskopischen Vereinigung der Doppelbilder besteht. Dieser Umstand macht auch die vierte Methode unsicher, aber es lässt sich diese Schwierigkeit aufheben, wenn man nicht unmittelbar die beobachtete Linie fixirt, sondern einen vor oder hinter derselben gelegenen Punkt. Dann erscheint die Linie nicht mehr in sich kreuzenden, sondern in recht- oder verkehrtseitigen Doppelbildern, deren Abstand von einander man durch die Wahl des fixirten Punktes selber bestimmen kann, und es ist nun, wenn man diesen Abstand geeignet nimmt, sehr leicht noch äusserst geringe Neigungen der Doppelbilder wahrzunehmen. Für diesen Fall ist die obige Formel zur Berechnung des Winkels α aus der beobachteten Neigung der verticalen Linie nicht mehr unmittelbar anwendbar. Nennen wir hier ψ den Winkel, um welchen die Linie geneigt werden muss, s wieder die Entfernung des fixirten Punktes und g die halbe Distanz der Augenmittelpunkte, und ist ferner l die Distanz zwischen fixirtem Punkt und beobachteter Linie, so findet man hier

$$\text{tgt. } \psi = \frac{s+l}{(s-l)\,\frac{g}{s}.\ \text{cot. }\frac{\alpha}{2}}.$$

In dieser Abänderung ist die vorliegende Methode von Meissner zu ausgedehnten messenden Versuchen über die combinirten Augenstellungen benutzt worden*). Innerhalb gewisser Grenzen ist sie in der That hierzu sehr geeignet, da sie am unmittelbarsten ziemlich genaue Resultate liefert. Um aber schwache Abweichungen vom Parallelismus zu entdecken, muss man den Abstand der Doppelbilder so gering wie möglich nehmen, den fixirten Punkt also möglichst nahe an die beobachtete Linie bringen, d. h. den Abstand l sehr klein machen. Dieser Umstand schränkt aber die Anwendbarkeit unserer Methode auf engere Grenzen ein. Man wird niemals dieselbe zur Ausmittelung der Augenstellungen bei parallel gerichteten Sehaxen verwenden können, denn hier ist, wenn man auch die beobachtete Linie so weit wie möglich bringt, der fixirte Punkt im Verhältniss zu ihr doch immer noch in unendlicher Entfernung gelegen, die Linie erscheint daher in Doppelbildern, die um die Distanz der Augen von einander entfernt sind; in solcher Entfernung kann aber von einer Erkennung so schwacher Neigungen, wie sie bei diesen Augenstellungen vorkommen,

*) Beiträge zur Physiologie des Sehorgans. Leipzig. 1854.

nicht mehr die Rede sein. In geringerem Grade gilt dies aber auch noch für schwache Convergenzstellungen; auch hier ist es nicht wohl möglich zwischen der Entfernung des fixirten Punktes und der beobachteten Linie das richtige Verhältniss zu wählen. Man sieht somit, dass die Doppelbilderversuche immer nur bei ziemlicher Nähe des fixirten Punktes, also bei stärkeren Convergenzgraden, anwendbar sind; aber auch hier geht ihre Anwendbarkeit nur bis zu einer gewissen Grenze: das einzelne Auge lässt sich nämlich viel weiter nach innen drehen, als einer möglichen Convergenzstellung entspricht, über das aber, was jenseits der möglichen Convergenzbreite liegt, geben natürlich die Doppelbilderversuche gleichfalls keinen Aufschluss. Wir sehen somit, dass die Untersuchung nur mit Hülfe der ersten Methode, der Untersuchung der Nachbilderneigung jedes einzelnen Auges, vollständig abzuschliessen ist: die wesentlichen Resultate, die man auf diesem Wege in Betreff der Winkelabweichung der verticalen Meridianprojectionen auf das binokulare Sehfeld gewinnt, sind bereits früher angeführt worden; wir haben jetzt nur noch zu untersuchen, in wie weit jene Resultate sich mittelst der Doppelbilderversuche innerhalb der Breite der Anwendbarkeit der letztern sich bestätigen lassen.

Von Meissner sind die Doppelbilderversuche in seinen „Beiträgen zur Physiologie des Sehorgans" ausschliesslich zur Ermittelung der combinirten Augenstellungen angewandt worden, und es haben ihm die Resultate dieser Versuche zur Aufstellung einer Theorie der Augenbewegungen Veranlassung gegeben, die er in einer besondern Abhandlung experimentell und mathematisch zu begründen suchte*). Ich habe oben gezeigt, dass die Doppelbilderversuche immer nur neben andern Versuchsmethoden werden zur Anwendung kommen dürfen, wenn es sich um eine erschöpfende Feststellung der Bewegungsgesetze des Auges handelt, und dass in der Natur dieser Versuche eine nothwendige Einschränkung in gewisse Grenzen gegeben ist. Durch die Beschränkung auf diese Versuchsmethode wurde also die experimentelle Grundlage von Meissner's Arbeit insoweit unvollständig, als es durch die Methode selber bedingt war, d. h. es ist in derselben kein Aufschluss gegeben über die Winkelabweichungen der Meridianprojectionen im binokularen Sehfeld, die bei den grössten und kleinsten Augendrehungen vorhanden sind.

Nach Meissner giebt es eine bestimmte Neigung der Visirebene, in welcher die Meridianprojectionen auf das binokulare

*) Zur Lehre von den Bewegungen des Auges, in Graefe's Archiv für Ophthalm. Bd. II. 1.

Sehfeld in allen Convergenzgraden keinen Winkel mit einander einschliessen, dies ist die Neigung von 45^0 unter den Horizont; überdies nimmt er an, die verticalen Meridianprojectionen seien parallel in allen Stellungen mit paralleler Richtung der Sehaxen. Er nennt daher die parallele Stellung der Sehaxen mit Neigung derselben um 45^0 unter den Horizont die Primärstellung, die Convergenzstellungen bei der letzteren Neigung der Visirebene und alle Stellungen mit parallelen Sehaxen nennt er Secundärstellungen, endlich alle übrigen combinirten Augenstellungen, d. h. alle Convergenzstellungen über oder unter 45^0, nennt er Tertiärstellungen, und er fasst dann das Gesetz der combinirten Augenstellungen in den kurzen Ausdruck zusammen: in der Primärstellung und in allen Secundärstellungen ist keine Drehung um die Sehaxe in der Projection auf das binokulare Sehfeld vorhanden, in allen Tertiärstellungen dagegen giebt es eine solche Drehung, und zwar ist dieselbe in den Neigungen der Visirebene oberhalb 45^0 nach aussen gerichtet, in den Neigungen derselben unterhalb 45^0 nach innen gerichtet.

Meissner's experimentelle Resultate sind neuerdings durch nach ähnlicher Methode angestellte Versuche von Recklinghausen bestätigt worden, dessen Versuchszahlen nur gewisse Abweichungen zeigen, die individuell zu sein scheinen, so namentlich würde bei ihm die Primärstellung nicht bei 45^0 sondern etwa bei 35^0 Neigung der Visirebene unter den Horizont gelegen sein*). Bei mir selber liegt die Neigung der Visirebene, wo ich zu den stärksten Convergenzgraden übergehen kann, ohne dass die Doppelbilder einer im binokularen Sehfeld befindlichen verticalen Linie sich neigen, ebenfalls höher als bei Meissner, nämlich ungefähr bei 40^0 Neigung, ohne übrigens auf diese Neigung streng beschränkt zu sein, sondern es ist die Visirebene in der Breite einiger Winkelgrade drehbar, ohne dass das Resultat sich merklich ändert, wie dies auch aus Meissner's und Recklinghausen's Tabellen hervorgeht. Oberhalb dieser Stellung der Visirebene sind dann in allen Convergenzgraden, in denen noch eine scharfe und bequeme Beobachtung möglich ist, die Doppelbilder nach innen geneigt, in den Convergenzgraden unterhalb jener Stellung der Visirebene sind die Doppelbilder nach aussen geneigt.

Der Meissner'sche Satz fasst somit die Resultate, welche die Doppelbilderversuche innerhalb der Breite ihrer leichteren Anwendbarkeit ergeben, im Wesentlichen richtig zusammen;

*) Graefe's Archiv f. Ophthalm Bd. V. 2. S. 173.

es muss dabei nur im Auge behalten werden, dass diejenige Stellung der Visirebene, bei welcher die Winkelabweichung der Meridianprojectionen für ein grösseres Convergenzgebiet verschwindet, die sog. Primärstellung Meissner's, nicht eine scharf begrenzte ist, sondern bei einem und demselben Individuum einige Winkelgrade umfasst, und bei verschiedenen Individuen erheblicher variirt. Der Meissner'sche Satz ist aber nicht mehr als eine solche annähernde Formel für die im Gebiet der Doppelbilderversuche zu ermittelnden Thatsachen, und es wäre ein Irrthum, wenn man denselben als ein Gesetz betrachten wollte, das der Theorie der Augenbewegungen zur Grundlage dienen könnte.

Eine solche Annahme musste schon a priori unwahrscheinlich sein. Es würde nämlich an sich nichts Unwahrscheinliches haben, wenn es eine bestimmte Stellung der Visirebene gäbe, bei welcher in allen Convergenzgraden keine Drehung um die Sehaxe vorhanden wäre. Wenn aber diese Stellung eine zum Horizont geneigte wäre, so müsste trotzdem im binokularen Sehfeld eine Abweichung der Meridianprojectionen und also eine gleich grosse Divergenz der Doppelbilder vorhanden sein. Wenn also umgekehrt bei einer bestimmten Neigung der Visirebene die Winkelabweichung der Meridianprojectionen in allen Convergenzgraden Null wäre, so würde dies verlangen, dass eine Drehung um die Sehaxe stattfände, die bei jeder Convergenz so gross sei, dass die Abweichung der Meridiane durch die Projection auf das binokulare Sehfeld genau aufgehoben werde, und es würde bei dieser einzelnen Neigung der Visirebene ein derartiger mathematisch bestimmbarer Zusammenhang zwischen Convergenz und Drehung um die Schaxe für das ganze Convergenzgebiet existiren. Man wird dies a priori nicht für unmöglich erklären dürfen, aber, wenn man erwägt, dass die Wahl des binokularen Sehfeldes schliesslich immer eine willkürliche bleibt, so wird man nicht umhin können, einen derartigen Zusammenhang wenigstens äusserst auffallend zu finden. Man bedenke, dass der Mechanismus unserer Augenbewegungen offenbar nicht, wie man früher wohl zuweilen geglaubt hat, sich richtet nach unseren binokularen Wahrnehmungen, d. h. immer bestrebt ist, eine möglichste Congruenz der Netzhäute herbeizuführen, sondern dass jener Mechanismus höchst wahrscheinlich sich lediglich richtet nach den mechanischen Bedingungen, die in ihm selber gelegen sind, da ja beim binokularen wie monokularen Sehen die Augenstellung dieselbe bleibt. Man würde, wenn trotzdem der Meissner'sche Satz ein Grundgesetz für die Augen-

bewegungen darstellen sollte, kaum in diesem Zusammenhang etwas anderes sehen können, als eine Art wunderbarer Zufälligkeit. Dagegen würde es wohl denkbar sein, dass innerhalb einer gewissen Breite des Convergenzgebietes die Winkelabweichung der Meridianprojectionen im binokularen Sehfelde zum Verschwinden käme oder doch unmerklich klein würde; denn die Drehung um die Sehaxe wächst langsam mit der Zunahme des Convergenzwinkels, ebenso die durch die Projection auf das binokulare Sehfeld bedingte Abweichung, wenn also beide Veränderungen in entgegengesetzter Richtung stattfinden, so wird es leicht geschehen können, dass innerhalb eines grösseren oder kleineren Convergenzgebiets die Winkelabweichung der Meridianprojectionen im binokularen Sehfeld annähernd Null wird.

Dies entspricht nun in Wirklichkeit den Thatsachen, wie wir sie mit Hülfe der Nachbilderversuche in grösserem Umfang zu ermitteln vermögen. Wir haben gesehen, dass bei allen Neigungen der Visirebene unter den Horizont bei weiterer Entfernung des Fixationspunktes die Meridianprojectionen nach aussen geneigt sind, während sie bei grösserer Annäherung nach innen sich neigen; zwischen beiden liegt ein grösseres oder kleineres Convergenzgebiet, innerhalb welches die verticale Meridianprojection annähernd vertical bleibt. Dieses Convergenzgebiet fällt aber allerdings bei den Neigungen der Visirebene bis zu ungefähr 40^0 so nahe an's Auge, dass demselben eine symmetrische Convergenz nicht mehr entspricht, und umgekehrt bei sehr starken Neigungen der Visirebene fällt dasselbe in ziemlich beträchtliche Ferne. Die Nachbilderversuche haben uns ferner ergeben, dass auch den Augenstellungen mit parallel gerichteten Sehaxen keineswegs die Bedeutung von Secundärstellungen im Sinne des Meissner'schen Satzes zukommt. Geht man von der horizontalen Lage der Visirebene aus, so sind die verticalen Meridiane nach innen geneigt bei allen Stellungen der Visirebene über der Horizontalen, und sie sind nach aussen geneigt bei allen Stellungen der Visirebene unter der Horizontalen. Diese Neigungen der Meridiane bei parallelen Sehaxen lassen sich aber allerdings aus den früher angegebenen Gründen mit Hülfe der Doppelbilderversuche nicht nachweisen.

Dagegen lassen sich durch dieselben einige andere Abweichungen vom Meissner'schen Satze zeigen, die vollkommen dem entsprechen, was mit den Nachbilderversuchen gefunden wurde. Bei allen Stellungen der Visirebene über dem Horizont sind bei symmetrischer Convergenz die Doppelbilder nach

innen geneigt; diese Neigung der Doppelbilder nach innen nimmt zu mit der Vergrösserung des Convergenzwinkels, aber sie ist noch deutlich vorhanden, wenn man auch den Convergenzwinkel so klein nimmt, als er nur bei diesen Versuchen genommen werden kann, wenn man nämlich den Fixationspunkt auf fast 100 Cm. entfernt. Dies entspricht vollkommen den durch die Nachbilderversuche gefundenen Thatsachen, welche zeigten, dass bei den Stellungen der Visirebene über dem Horizont für alle combinirte Augenstellungen nahezu vom Convergenzwinkel Null an im binokularen Sehfeld Drehung der Meridianprojectionen nach aussen vorhanden war.

Bei horizontaler Stellung der Visirebene sind die Doppelbilder bei sehr kleinen Convergenzwinkeln parallel, dann werden sie nach innen geneigt, welche Neigung nach innen mit der Vergrösserung des Convergenzwinkels zunimmt. Auch dies entspricht der gefundenen Abweichung der Meridianprojectionen.

Endlich bei den Neigungen der Visirebene unter den Horizont findet man bis zur Neigung von ungefähr 40^0 bei den kleinsten Convergenzwinkeln, die man hier benützen kann, die Doppelbilder nach innen geneigt, und diese Neigung nach innen nimmt zu bis zu den stärksten symmetrischen Convergenzstellungen. Aber es nimmt die Neigung der Doppelbilder nach innen ab, je mehr sich die Visirebene der Neigung von 40^0 nähert, es bildet sich ein Convergenzgebiet, innerhalb dessen die Doppelbilder parallel stehen, und dieses Convergenzgebiet rückt im Allgemeinen, obgleich nicht regelmässig, mit der Neigung der Visirebene immer näher an's Auge. Endlich bei der Neigung der Visirebene von etwa 40^0 stehen die Doppelbilder bei den stärksten Convergenzen, die man erzielen kann, vollkommen parallel, und sie bleiben parallel auch bis zu beträchtlicher Entfernung vom Auge. Bei den Neigungen der Visirebene unter 40^0 sind innerhalb des gewöhnlichen Convergenzgebietes, d. h. von 50 bis zu 5 Cm. Entfernung des fixirten Punktes, die Doppelbilder nach aussen gerichtet, welche Neigung nach aussen mit der Vergrösserung des Convergenzwinkels zunimmt. Jenseits jener Entfernung findet man ein kleines Convergenzgebiet, wo die Doppelbilder parallel stehen, und endlich bei den kleinsten Convergenzwinkeln findet man auch hier die Doppelbilder sehr schwach nach innen geneigt, so aber, dass der Entfernung des fixirten Punktes keine symmetrische Convergenz mehr entspricht, daher auch die Neigung nach innen sich auf das eine der Doppelbilder beschränkt. — Auch diese

Beobachtungen entsprechen ganz den mit Nachbildern gefundenen Thatsachen.

Man kann somit den Meissner'schen Satz als einen kurzen Ausdruck für die im Gebiet des Doppelsehens in Betracht kommenden Thatsachen stehen lassen, aber man muss sich dabei erinnern, dass dieser Satz kein Gesetz für die Augenbewegungen darstellt, sondern nur einen Ausdruck für die Thatsachen giebt, welcher so annähernd richtig ist, dass die Abweichungen davon meistens nicht in Betracht fallen. Aber wenn diese Abweichungen meist im Gebiet des Doppelsehens nicht in Betracht fallen, (obgleich manche derselben auch hier noch wohl zu beobachten sind), so ist damit nicht gesagt, dass dieselben überhaupt vernachlässigt werden dürfen. Wo es sich darum handelt, die Augenstellung genau zu kennen, wie z. B. für den Zweck der Bestimmung der Zugkräfte der Muskeln, die auf den Augapfel einwirken, und überhaupt bei allen für die Theorie der Augenbewegungen wichtigeren Fragen, da sind jene Abweichungen sehr in Rücksicht zu ziehen, und da kann deshalb nicht ausgegangen werden von einem Satze, der dieselben vernachlässigt.*)

3. Ueber den Horopter.

In den vorausgegangenen Untersuchungen ist das wesentliche Material zur Beantwortung eines Problems enthalten, das schon seit langer Zeit Physiker und Physiologen beschäftigt hat, und dessen Lösung in verschiedener Weise versucht worden ist. Sobald man auf die Erscheinung der Doppelbilder aufmerksam zu werden begann, musste man sich zu der Frage veranlasst fühlen: welchen Ort im Raum nehmen die gleichzeitig einfach gesehenen Objecte ein? Mit der Beantwortung dieser Frage war natürlich zugleich die entgegengesetzte Aufgabe, die Bestimmung der doppelt gesehenen Gegenstände im Raume, gelöst; die directe Ermittelung der einfach gesehenen Objecte schien aber von besonderem physiologischem und praktischem Interesse, weil damit zugleich die Frage nach den mit beiden Augen deutlich gesehenen Gegenständen entschieden war.

---

*) Ich habe mich in dem obigen Abschnitt auf die Auseinandersetzung der wichtigsten Thatsachen beschränkt, die für die binokularen Gesichtswahrnehmungen von Bedeutung sind. Die speciellere Erörterung der combinirten Augenbewegungen behalte ich mir vor für eine besondere Arbeit über die Bewegung der Augen.

Man stellte sich von vornherein den Inbegriff der einfach gesehenen Punkte als eine Linie oder Fläche, oder auch als einen nach drei Dimensionen ausgedehnten Raum vor und bezeichnete, der Untersuchung vorausgreifend, diesen Inbegriff einfach gesehener Punkte als Horopter. Die Ansichten über das Einfach- und Doppelsehen der Gegenstände sind daher in den Ansichten über die Gestalt des Horopters enthalten, den man theils durch Construction theils auf experimentellem Weg zu ermitteln suchte.

Bei diesen Untersuchungen über den Horopter stimmten aber Alle darin überein, dass ein Punkt, dessen Bild in beiden Augen auf correspondirenden Netzhautpunkten entworfen wird, unter allen Umständen einfach erscheint, während alle Bilder, die auf nicht correspondirende Netzhautstellen fallen, doppelt gesehen werden. Mit Beziehung hierauf geschah es, dass man die correspondirenden Netzhautpunkte auch identische Punkte benannte, eine Gleichsetzung, die sich im Wesentlichen bis heute erhalten hat, denn, wenn auch neuere Untersuchungen als unzweifelhaft herausstellten, dass von Identität der Netzhäute in dem Sinne wie es von früheren Autoren geschah, nicht gesprochen werden kann, so hat man sich doch bestrebt, die Lehre von den identischen Netzhautstellen wenigstens in Bezug auf die räumlichen Wahrnehmungen aufrecht zu erhalten.*) Einfachsehen und Sehen mit correspondirenden Netzhautstellen ist sonach immer für gleichbedeutend genommen worden, man hielt den Horopter ebensowohl für den Inbegriff der einfach gesehenen Punkte im Raum wie für den Inbegriff derjenigen Punkte, deren Bilder auf correspondirenden Netzhautstellen entworfen werden. Indem man die zweite Aufgabe zu lösen suchte, glaubte man auch die erste zu lösen. Es war dies lediglich eine Consequenz der anatomischen Hypothese über die Objectivirung der Wahrnehmungen, die in diesen

---

*) Diesen Standpunkt vertritt noch Volkmann in seinen gründlichen Untersuchungen über die stereoskopischen Erscheinungen (Graefe's Archiv für Ophthalmologie. Bd. V. 2), und Fechner sagt in einer Abhandlung, die durch die Darlegung einer Reihe von Wechselbeziehungen zwischen beiden Netzhäuten, welche mit der Identitätslehre vollkommen unvereinbar sind, für die Kenntniss des binokularen Sehaktes von grosser Wichtigkeit ist: „Es ist insofern gleichgültig, ob zwei Eindrücke auf correspondirenden (sog. identischen) Stellen beider Netzhäute, oder einer wirklich identischen Stelle einer und derselben Netzhaut zusammentreffen, als sie beidesfalls gleich vollständig in einen Eindruck verschmelzen, einen Raumpunkt in der Erscheinung decken, nur eine qualitativ einfache Resultante der Empfindung geben," u. s. w. (Ueber einige Verhältnisse des binokularen Sehens. S. 559.)

Abhandlungen mehrfach besprochen worden ist, und die auch in Bezug auf diesen besonderen Gegenstand in Joh. Müller ihren Hauptvertreter gefunden hat. Müller dachte sich den binokularen Sehakt in seinem Wesen nicht verschieden von dem monokularen Sehen. Beide Netzhäute bestanden nach ihm aus Faserausbreitungen desselben Ursprungs, beide Sehnerven waren nach seiner Annahme aus Fasern zusammengesetzt, die so im Chiasma sich theilten, dass jede einfache Nervenfaser in zwei auslief, die in zwei correspondirenden Punkten beider Netzhäute endigten. Dem einfachen Ursprung im Gehirn musste aber nach Müller die einfache Empfindung entsprechen, und so waren ihm beide Augen in Structur und Function nur ein einziges Sehorgan.*) Müller ist der Hauptvertreter dieser Hypothese, weil er sie am klarsten zum Ausdruck brachte und ihr die umfassendste Anwendung gab, aber er ist weder ihr erster noch ihr letzter Vertreter, sondern die meisten, ja fast alle Untersuchungen über den binokularen Sehakt vor ihm und nach ihm stützen sich im Wesentlichen auf das gleiche Princip, insbesondere dürfte in Bezug auf das Einfach- und Doppelsehen der Gegenstände kaum irgendwo eine Ansicht ausgesprochen worden sein, die nicht von der Identität der correspondirenden Netzhautstellen in Bezug auf räumliche Wahrnehmungen ausginge. So ist denn auch in den Untersuchungen über den Horopter vor und nach Müller die Identitätslehre immer massgebend gewesen, es ist, wie schon gesagt, in allen diesen Untersuchungen Einfachsehen und Sehen mit correspondirenden Punkten als gleichbedeutend genommen worden.

Insofern es nun in dem nächsten Abschnitt meine Aufgabe sein wird, auf theoretischem und experimentellem Wege den Beweis zu liefern, dass diese Gleichsetzung unstatthaft ist, dass ebenso wenig unter allen Umständen mit correspondirenden Netzhautstellen einfach wie mit nicht correspondirenden Stellen doppelt gesehen wird, könnte ich mich füglich eines Eingehens auf jene Untersuchungen über den Horopter gänzlich enthalten, da denselben ja doch die Bedeutung, die man glaubte, nicht zukommt. Immerhin ist aber auch ohne Rücksicht auf das Einfach- oder Doppelsehen der Objecte die Frage nach den Punkten im Raum, deren Bilder auf correspondirenden Netzhautstellen entworfen werden, nicht ohne Interesse und als Voruntersuchung für das Spätere nicht ohne Bedeutung. Es wird daher um so mehr geboten sein, auf

*) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns. S. 71 u. f.

diesen Gegenstand hier näher einzugehen, weil die bisherigen Untersuchungen über den sog. Horopter die Frage keineswegs erschöpfend beantworten.

Man hielt früher den Horopter meistens für eine Ebene, die im fixirten Punkt auf der Visirebene senkrecht stehe*), man glaubte, die Bilder aller Punkte dieser Ebene fielen auf correspondirende Netzhautstellen. Die Unrichtigkeit dieser Meinung wies Vieth durch geometrische Construction nach und zeigte auf demselben Weg, dass die in der Visirebene befindlichen Punkte, deren Bilder auf correspondirenden Netzhautstellen entworfen werden, im Umfang eines Kreises liegen, der durch den Fixationspunkt und die optischen Centren der Augen gelegt wird.**) Dieselbe Angabe soll längere Zeit vorher schon von Pierre Prévost gemacht worden sein.***) Unabhängig von Beiden gelangte Joh. Müller zu der gleichen Construction,†) Müller aber war der Erste, der dem Gefundenen eine ausgedehnte physiologische Anwendung zu geben wusste auf die Lehre vom Einfach- und Doppelsehen und von der Bewegung der Augen; insbesondere in letzterer Hinsicht zeigte er, dass die Bewegung beider Augen im Horopter für dieselben die naturgemässeste sei, weil nur dann beide in gleichen Zeiten gleich grosse Wege zurücklegen.††) Diese Anwendung auf die combinirte Bewegung der Augen ist ganz unabhängig von der sonstigen Horopterlehre, und es muss in der That als in hohem Grade wahrscheinlich angesehen werden, dass die Augen bei ihren Bewegungen in der Visirebene dem von Müller ausgesprochenen Princip Folge leisten.

Die Müller'sche Horopterlehre fand bei den Physiologen allgemeinen Eingang, ohne dass der Versuch gemacht wurde, das theoretisch Gefundene einer sorgfältigen experimentellen Prüfung zu unterwerfen. Die einzige Vervollständigung, die man der Müller'schen Horopterlehre da und dort zu geben suchte, bestand darin, dass man sie auch auf die Höhendimension ausdehnte, und dann an die Stelle des Horopterkreises eine gekrümmte Fläche (Kugel- oder Cylinderfläche)

---

*) Ueber die frühere Geschichte der Horopterlehre vergl. Gehler's physikal. Wörterbuch. Bd. IV. S. 1472 u. fg.

**) Gilbert's Annalen. Bd. 58. 1818. S. 233.

***) Nach Claparède (Reichert's und du Bois-Reymond's Archiv. 1859. S. 384). Die Angabe von Prévost befindet sich in dessen 1805 erschienenem Essai de Philosophie (T. I. p. 173), das mir unzugänglich gewesen ist.

†) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtsinns. 1825. S. 170.

††) Ebend. S. 242 u. f.

setzte. Genauer wurde auf dem Weg der Construction die Höhendimension des Horopters nur von Alexander Prévost untersucht, und es wurde von ihm gezeigt, dass der Ort sämmtlicher Punkte des Raumes, die entsprechende Netzhautstellen afficiren können, ausser in dem durch den Fixationspunkt und die optischen Centren gelegten Kreise in einer Linie befindlich ist, die auf der Visirebene in dem Punkte senkrecht steht, in welchem der horizontale Horopterkreis eine auf die Mitte der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte errichtete Senkrechte schneidet.*)

Der Erste, der die Müller'sche Horopterlehre einer experimentellen Prüfung unterwarf, war Baum; seine Versuche sind schon vor längerer Zeit angestellt, aber erst neuerdings veröffentlicht worden.**) Der Hauptversuch Baum's ist folgender: er bringt eine gerade Linie, z. B. die schmale Kante eines Lineals, so vor das Gesicht, dass dieselbe mitten auf der Halbirungslinie der Augenmittelpunkte senkrecht steht, wird der Endpunkt des Lineals fixirt, so erscheint dasselbe in verkehrten Doppelbildern, welche an diesem Punkt sich berühren. Wird dann das Lineal um sein an das Gesicht gestemmtes Ende gedreht, während die Convergenzstellung unverändert beibehalten wird, so entfernen sich die Enden der Doppelbilder von einander und lassen eine Spalte zwischen sich. Da nun ein Kreis, welcher mit der Entfernung des fixirten Punktes von der Nasenwurzel als Radius beschrieben wird, jedenfalls noch grösser ist als der Horopterkreis, da also der Durchschnittspunkt der Linie von dem Ende derselben an sich dem Auge im Gegentheil hätte nähern müssen statt sich zu entfernen, so schloss Baum, dass der Horopter nicht in der von Müller construirten Kreislinie, sondern hinter derselben gelegen sei.

Wir wollen diesen Versuch hier etwas näher in's Auge fassen, weil seine Deutung für die Horopterfrage von grosser Wichtigkeit ist, obgleich er uns auf einen Gegenstand führt, dessen gründlichere Erörterung wir dem nächsten Abschnitt vorbehalten müssen: es sind nämlich die Bedingungen in diesem Versuch solche, dass in der That mit correspondirenden Netzhautstellen doppelt gesehen wird. — Das Resultat des Baum'schen Versuchs ist zweifellos richtig, und es hat daher

---

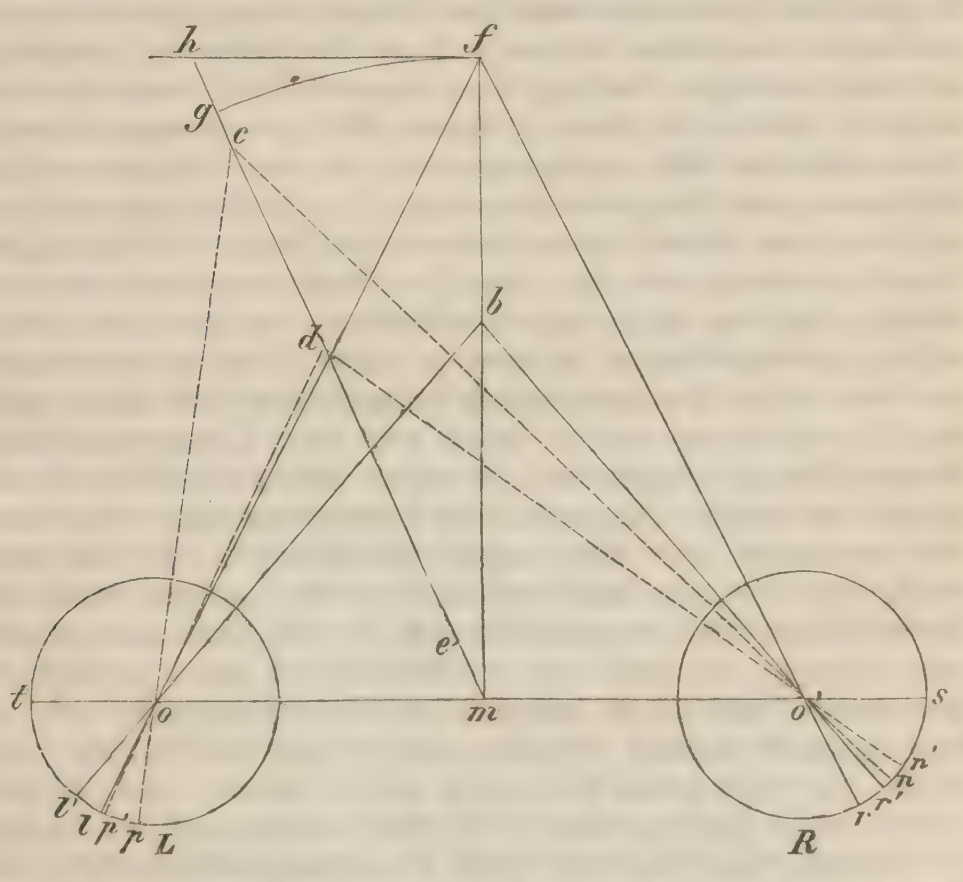
*) Essai sur la théorie de la vision binoculaire. Dissert. Génève. 1842. Im Auszug in Biblioth. univers. de Génève. Nov. 1843, und in Poggendorff's Annalen. Bd. 62. 1844. S. 548.

**) In Meissner's Beiträgen zur Physiologie des Sehorgans. S. 56.

auf den ersten Blick allerdings den Anschein, als wenn dadurch mit einem Schlag die Annahme eines kreisförmigen Horopters experimentell widerlegt sei. Kaum giebt es einen andern Versuch, der uns einen so schroffen Widerspruch aufdeckte zwischen der Beobachtung und zwischen dem, was wir a priori erwarten sollten. Die Construction des Horopterkreises, der durch den Fixationspunkt und die Augenmittelpunkte geht, ist zweifellos richtig, das Bild jedes Punktes, der auf diesem Kreise gelegen ist, muss in beiden Augen auf correspondirende Netzhautstellen fallen, aber die Baum'sche Beobachtung, dass unter den von ihm angegebenen Versuchsbedingungen ein solcher Punkt nicht einfach, sondern doppelt gesehen wird, ist ebenso zweifellos richtig. Um so mehr wird ein derartiger Widerspruch uns zur sorgfältigen Prüfung auffordern.

Suchen wir uns zuerst durch eine Construction das von dem Versuch zu erwartende Resultat klar zu machen. Es seien, Fig. 7, R und L das rechte und linke Auge, $m f$

Fig. 7.



der zwischen die Augen gebrachte Stab, f dessen fixirter Endpunkt. Der Stab $m f$ erscheint in verkehrtseitigen Doppel-

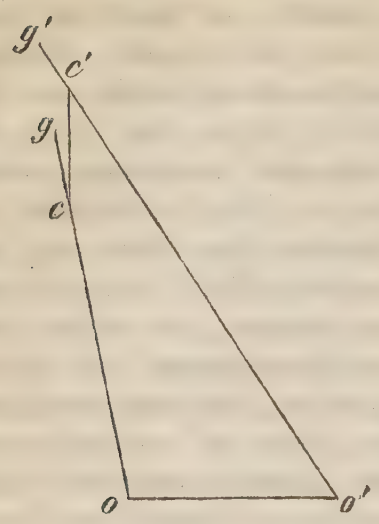
bildern, die sich im Punkt f berühren, denn fällt das Bild des Punktes f in jedem Auge auf den gelben Fleck, so fällt das Bild irgend eines vor f gelegenen Punktes b auf nicht correspondirende Netzhautstellen. Sind r und l der gelbe Fleck in jedem Auge, so fällt b im rechten Auge auf r', im linken Auge auf l', und r' liegt ebenso weit nach aussen von r, wie l' nach aussen von l liegt, die gegenseitige Entfernung der Doppelbilder von b entspricht daher der Netzhautdistanz $rr' + ll'$. Es werde nun, während der Punkt f fixirt bleibt, mf um den Punkt m gedreht, so dass es nach mg zu liegen kommt. Von der Linie mg sei der Punkt c im Horopter gelegen, es fällt dann das Bild von c im rechten Auge nach n auf der äussern Seite von r, im linken Auge nach p auf der inneren Seite von l, und die Netzhautdistanzen rn und lp sind einander gleich, n und p sind daher correspondirende Punkte. — Der Punkt b ist, während f nach g gelangte, nach d gekommen, es fällt aber d im Auge R nach n', im Auge L nach p'. Die transversale Entfernung der Doppelbilder von d beträgt $rn' + lp'$, aber es ist klar, dass diese Doppelbilder jetzt auch nach der Tiefenrichtung gegen einander verschoben erscheinen müssen, denn die Linie mg erscheint bei ihrer schrägen Stellung dem Auge R viel kürzer als dem Auge L. Würde der Punct c, dessen Bild auf correspondirende Netzhautstellen fällt, einfach gesehen, so wäre die gegenseitige Entfernung der Doppelbilder von d in der Richtung $mg = pp' - nn'$, um diesen Betrag müsste der Punkt d dem Auge R ferner erscheinen als dem Auge L. Denkt man sich nun den Punkt d auf der Linie mg verschiebbar, so wird der Unterschied $pp' - nn'$ immer grösser, je näher d an m heranrückt, das dem Auge R entsprechende Doppelbild würde daher nach der Tiefenrichtung um so mehr von dem L entsprechenden Doppelbilde sich entfernen, je näher der beobachtete Punkt genommen würde. Eine einfache Betrachtung zeigt aber, dass dies unmöglich ist. Man nehme den Punkt e, der um sehr wenig von der Mittellinie mf entfernt ist, so wird auch die Tiefendistanz der Doppelbilder von e nur eine sehr kleine sein können, sie wird um so kleiner, je näher e nach m heranrückt, und in m selber wäre sie, vorausgesetzt dass m noch gesehen werden könnte, gleich Null; es würden also, wenn man die ganze Linie mg sehen könnte, die Doppelbilder von d im Gegentheil so in der Richtung mg verschoben erscheinen, dass das dem Auge L zugehörige Doppelbild um $p't - n's$ ferner gelegen wäre als das dem Auge R zugehörige Doppelbild. Nun ist zwar der Punkt m für keines von beiden

Augen sichtbar, und der nächstgelegene sichtbare Punkt ist überhaupt für beide Augen nicht gleich, er liegt für das Auge R ferner als für das Auge L, aber dies macht offenbar keinen Unterschied, denn um so viel L mehr sieht als R, um so viel erscheint das Doppelbild der Linie dem Auge L gegen m hin länger, man kann sich also immerhin beide Doppelbilder bis m fortgesetzt denken. — Der Unterschied in der Lage der Doppelbilder eines Punktes der Linie mg ist somit um so grösser, der Punkt erscheint dem linken Auge um so entfernter im Verhältniss zum rechten, je näher der Punkt bei g gelegen ist. Die ganze Erscheinung hat darin ihren Grund, dass wir uns genöthigt sehen, den uns nächsten Endpunkt jedes Doppelbildes in die Linie oo' zu verlegen, und dass wir daher irgend zwei ferner liegende entsprechende Punkte der Doppelbilder nicht in eine oo' parallele Linie verlegen können, weil das eine derselben kürzer als das andere ist, wir können daher auch nie die Doppelbilder mit irgend zwei entsprechenden Punkten sich durchkreuzen sehen.

Da dies um so mehr gültig ist, je weiter man sich die Linie mg fortgesetzt denkt, so können die Doppelbilder auch nicht in h, das mit f in einer zu oo' parallelen Linie liegt, einen solchen virtuellen oder wirklichen Durchschnittspunkt haben, dass sie dort mit entsprechenden Punkten zusammentreffen, wie dies von Baum angenommen wurde. Der einzige Punkt, der in beiden Augen auf correspondirende Netzhautstellen fällt, ist der Punct c, aber dieser Punkt wird trotzdem doppelt gesehen, weil beide Augen ihn in verschiedene Entfernungen projiciren. Die Doppelbilder des Punktes c sind aber die einzigen, welche in einer mf parallelen Linie gelegen sind, d. h. bei denen nur eine Verschiebung nach der Tiefenrichtung vorhanden ist, die Doppelbilder aller übrigen Punkte der Linie sind zugleich nach der Richtung oo' gegen einander verschoben, und zwar so, dass alle jenseits c gelegenen Punkte in verkehrtseitigen Doppelbildern erscheinen. Von c an nimmt die transversale Distanz der Doppelbilder nach beiden Seiten hin zu, während ihre Tiefenentfernung mit der Annäherung an's Auge immer kleiner wird.

Mit diesen Folgerungen stimmen nun die Resultate des Versuchs vollständig überein. Es sei in Fig. 8 o der Ort des linken, o' des rechten Auges, die beobachtete Linie sei in der in der vorigen Figur gezeichneten Lage. Das Doppelbild des linken Auges ist dann $o'g'$, das Doppelbild des rechten Auges og, beide Doppelbilder sind in der der beobachteten Linie entsprechenden Richtung geneigt, aber die

Fig. 8.



Neigung von $o'g'$ ist stärker als die von og, so dass der Endpunkt g' nach links von dem Endpunkt g zu liegen kommt, die Punkte c und c', die in einer auf oo' senkrechten Richtung liegen, sind die Bilder correspondirender Netzhautstellen. — Man sieht diese Bilder deutlich hinter einander liegen, weil c und c' sich nicht decken, indem og und $o'g'$ wegen der Drehung des Auges nicht, wie in der Construction vorausgesetzt ist, in einer Ebene liegen, sondern etwas über einander geschoben erscheinen. — Ich bemerke noch, dass es, um bei diesem Versuch nicht in Täuschungen zu verfallen, wesentlich ist, den Punkt f (s. vor. Fig.) vollkommen fest zu fixiren und nicht, wozu man namentlich bei starker Neigung der Linie leicht geneigt ist, seitlich nach dem Punkte g hin zu schielen; lässt man dies ausser Acht, und fixirt man unwillkürlich den Punkt g, so erscheint natürlich die ganze Linie in verkehrten Doppelbildern, und auch der Punkt g liegt dann nach rechts von g'. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man absichtlich den Punkt g fixirt, man wird es auch bei strengster Fixation nie dahin bringen, den Punkt g einfach zu sehen, bei schärfster Fixation erscheint derselbe immer noch in hinter einander gelegenen Doppelbildern, sowie man aber in der Fixation etwas nachlässt, so weichen diese auch in transversaler Richtung aus einander. Auch hier haben wir also, wie man beiläufig sieht, einen Fall, wo trotz des Sehens mit correspondirenden Netzhaustellen doppelt gesehen wird, und wo noch dazu der fixirte Punkt doppelt gesehen wird.

Baum hat noch einen zweiten Versuch angegeben, durch welchen er direct zu beweisen sucht, dass der einfach gesehene Punkt immer in einer zur Verbindungslinie der Augenmittelpunkte parallelen Geraden liege. Er fixirt zu diesem Zweck nicht den Endpunkt f der Geraden, sondern irgend einen vor demselben gelegenen Punkt. Dreht man dann die Linie mf um den Punkt m, so rückt der Durchschnittspunkt der Doppelbilder, der in der Ausgangsstellung im fixirten Punkte lag, bei der Drehung allmälig hinaus und nähert sich dem End punkt der Linie. Nach Baum's und Meissner's Versuchen

liegt dabei der Durchschnittspunkt immer in einer zur Verbindungslinie der Augenmittelpunkte parallelen Geraden, woraus Beide schliessen, dass eben diese Gerade der horizontale Horopter sei.*)

Das Hinausrücken des Durchschnittspunktes ist eine unzweifelhafte Thatsache, dagegen muss ich, nach vielfältiger Wiederholung des Versuchs, der Behauptung, dass der Durchschnittspunkt immer in der angegebenen Geraden bleibt, widersprechen. Nach unseren obigen Erörterungen würde, wenn dies auch stattfände, hierin kein Beweis gegeben sein für das Einfachsehen in jener zur Verbindungslinie der Augenmittelpunkte parallelen Geraden, denn wegen der verschiedenen Neigung der Doppelbilder können diese ja nur mit nicht entsprechenden Punkten sich kreuzen; aber es bleibt, wie gesagt, der Durchschnittspunkt keineswegs in jener Geraden, sondern man beobachtet, dass er schnell beträchtlich ferner rückt. Ich stelle den Versuch auf folgende einfache Weise mittelst drei feiner Stricknadeln an. Die erste Nadel wird als Fixationsobject vertical befestigt, die zweite wird als zu beobachtende Linie an die Nasenwurzel angesetzt, und die dritte dient zur Markirung des Ortes, wo sich die Doppelbilder bei irgend einer seitlichen Neigung der zweiten Nadel durchschneiden; man kann hier leicht constatiren, dass mit der Abweichung der beobachteten Linie vom Fixationsobject der Durchschnittspunkt der Doppelbilder sehr schnell ferner rückt, es ist zu diesem Zweck besonders gut, den Fixationspunkt möglichst nahe zu nehmen, weil dann das Weiterrücken des Durchschnittspunktes um so bedeutender wird. Auch bei diesen Versuchen hat man sich übrigens vor unabsichtlichem Wechsel des Fixationspunktes zu hüten.

Wenn wir die obigen Constructionen, Fig. 7 und 8, in's Auge fassen, so werden wir den beschriebenen Erfolg keineswegs auffallend finden, sondern als eine nothwendige Folge der Versuchsbedingungen betrachten müssen. Die Entfernung der Doppelbilder des Punktes c nach der Richtung mf ist, wie wir gesehen haben, proportional dem Unterschied der

---

*) Meissner nennt dieselbe jedoch nur einen virtuellen Horopter, weil die Doppelbilder sich nicht wirklich kreuzen, sondern wegen der Drehung der Augen um ihre Sehaxen noch in senkrechter Richtung von einander abstehen. Ich habe diese senkrechte Verschiebung der Doppelbilder gegen einander, die mit den obigen Untersuchungen zunächst nicht in Beziehung steht, hier gleichfalls noch ausser Acht gelassen; es ist daher wo oben von Durchschneidung der Doppelbilder die Rede ist, dies nur mit Rücksicht auf diese Vernachlässigung zu verstehen.

Netzhautdistanzen $p't$ und $n's$; dieser Unterschied nimmt aber immer mehr und sehr schnell zu, je weiter mg von mf weg gedreht wird. Die Entferung des Durchschnittspunktes der Doppelbilder steht aber in directem Verhältniss zur Distanz cc', Fig. 8, je kleiner cc' ist, um so näher ist der wirkliche oder virtuelle Durchschnittspunkt der Doppelbilder gelegen, und je grösser cc' wird, um so ferner rückt dieser Durchschnittspunkt.

Es ergiebt sich aus unsern Betrachtungen der Schluss, dass die beiden von Baum angegebenen Grundversuche den Beweis allerdings liefern, dass nicht unter allen Umständen die in dem Horopterkreis gelegenen Punkte einfach gesehen werden, aber es war ein Fehlschluss, wenn Baum weiter folgerte, dass deshalb auch die Bilder jener Punkte nicht auf correspondirende Netzhautstellen fielen. Wir sehen im Gegentheil, dass wir hier zum ersten Mal auf einen evidenten Fall gestossen sind, wo mit correspondirenden Netzhautstellen doppelt gesehen wird.

Meissner hat den Versuchen Baum's noch einige eigene hinzugefügt, durch welche er auf indirectem Wege zu beweisen suchte, dass die horizontale Horopterlinie eine der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte parallele Gerade sei.*) Er nahm z. B. drei Punkte, deren mittleren er fixirte, und deren seitliche er in indirectem Sehen beobachtete; die Doppelbilder dieser seitlichen Punkte sollen nach seinen Beobachtungen nur dann nicht transversal gegen einander verschoben sein, wenn alle drei Punkte in jener Geraden gelegen sind. Ich werde auf diese Versuche, die mit meinen eigenen Beobachtungen im Widerspruch stehen, weiter unten zurückkommen.

Alle bisher erwähnten Untersuchungen über den Horopter lassen eine etwaige Incongruenz der beiden Netzhäute durch ungleiche Drehung um die Sehaxen unberücksichtigt, die meisten begnügen sich daher mit der geometrischen Construction, ohne den Versuch zu machen, das auf diesem Weg Gefundene durch die Beobachtung zu constatiren, nur Baum sucht den Horopter experimentell zu ermitteln, aber er beschränkt sich seinerseits rein auf das Experiment, und bringt nichts, was den Widerspruch zwischen der Beobachtung und dem, was nach der Construction a priori erwartet werden muss, zu lösen vermöchte; denn wenn eine Krümmungsverschiedenheit der äussern und innern Hälfte der Retina, deren Vermuthung Baum zu

*) A. a. O. S. 59 u. f.

seinen Untersuchungen bestimmte*), auch besteht, so wird eine solche Verschiedenheit allerdings eine Abweichung in der Gestalt des horizontalen Horopters bedingen müssen, es wird dieser nicht vollkommen kreisförmig gekrümmt sein, aber eine gerade Horopterlinie steht deshalb keineswegs zu erwarten.

Das Gegenstück hierzu bilden die Arbeiten Meissner's über den Horopter. Sie berücksichtigen fast ausschliesslich die Drehungen um die Sehaxe, ihr Ziel besteht daher in der experimentellen Ermittelung derjenigen Punkte des Raumes, in Bezug auf welche keine Incongruenz der Netzhäute durch Drehung vorhanden ist. Würde dieses Ziel in Meissner's Untersuchungen erreicht sein, so wäre damit ein Hauptmoment zur Entscheidung der Frage nach den Theilen des Raumes, deren Bilder auf correspondirende Netzhautstellen fallen, gegeben. Aber dieses Ziel wurde von Meissner nicht vollständig erreicht, weil er einerseits, wie wir im vorigen Abschnitt gesehen haben, die combinirten Augenstellungen nicht mit genügender Vollständigkeit untersucht hatte, und weil er andererseits die transversale Verschiebung der Netzhautbilder bis zu einem gewissen Grade, aber doch nicht überall berücksichtigte. So reducirt sich bei ihm bei den asymmetrischen Convergenzstellungen der verticale Horopter, obgleich man auch hier dem verticalen Stab eine bestimmte Neigung geben kann, bei der die gekreuzten Doppelbilder desselben sich vereinigen, doch auf den fixirten Punkt, weil die vereinigten Doppelbilder immer noch mit ungleichen Punkten sich decken; ebenso ist bei ihm im strengsten Sinn, ausser bei paralleler Sehaxenstellung und 45^0 Neigung unter den Horizont, kein horizontaler Horopter vorhanden, und hierbei erwähnt Meissner nicht einmal, dass durch Drehung des horizontalen Stabes um eine verticale Axe auch hier die Winkelverschiebung der Doppelbilder aufgehoben werden kann. Andererseits aber fällt es Meissner nicht auf, dass, auch wenn die beobachtete horizontale Linie parallel der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte gehalten wird, ihre Bilder in beiden Augen nicht mit gleichen Punkten sich decken, wie die Construction als nothwendig ergiebt, und wie es, was ich nachher zeigen werde, auch der Versuch bestätigt. Dazu kommt weiter, dass Meissner den unrichtigen Schluss macht, sobald eine verticale und eine horizontale Linie einer Ebene einfach gesehen werde, müsse auch die ganze Ebene einfach erscheinen. Ich werde unten zeigen, dass weder die Theorie noch der Versuch dies be-

*) S. Meissner a. a. O. S. 5.

stätigen, dass in gewissen Augenstellungen gleichzeitig eine in der Visirebene gelegene gekrümmte Linie und eine zur Visirebene senkrechte Verticallinie auf correspondirende Netzhautstellen fallen, ohne dass deshalb der Horopter eine Cylinderfläche ist. — Nach diesen Erörterungen ist es leicht verständlich, wie sich der Meissner'sche Horopter gestalten musste. Er ist eine zur Visirebene senkrechte ebene Fläche bei paralleler Stellung der Sehaxen für jede Neigung der Visirebene und, wenn diese 45^0 unter den Horizont gerichtet ist, bei jedem Convergenzgrad; bei allen übrigen symmetrischen Convergenzstellungen der Sehaxen giebt es nur eine mittlere verticale Horopterlinie, welche immer zur Visirebene geneigt ist, und zwar bei allen Neigungen der Sehaxen oberhalb 45^0 mit ihrem obern Ende vom Beobachter weggekehrt ist, bei allen Neigungen unterhalb 45^0 mit ihrem obern Ende dem Beobachter zugekehrt ist; bei den asymmetrischen Convergenzstellungen endlich reducirt sich der Horopter auf einen Punkt, den Fixationspunkt.

Nach dieser Uebersicht über die Entwicklung der neuern Horopterlehre gehe ich zur definitiven Feststellung der Punkte des Raumes, deren Bilder auf correspondirende Netzhautstellen fallen, über; ich werde künftig von solchen Punkten einfach sagen: sie decken sich binokular; dieser Ausdruck ist kurz und schliesst nicht die Verwechslung von Sehen mit correspondirenden Netzhautstellen und Einfachsehen in sich. Zuerst will ich untersuchen, was, die Augenstellungen als bekannt vorausgesetzt, sich a priori über den Ort dieser Punkte aussagen lässt, und dann werde ich zeigen, ob und wie das theoretisch gefundene auf dem Weg des Versuchs sich prüfen lässt.

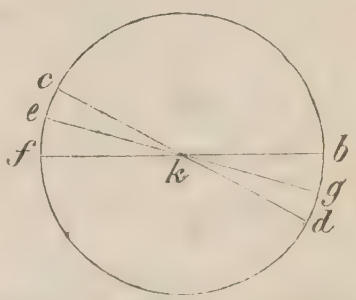
Es lassen zwei Arten von Incongruenz der Netzhautbilder beider Augen sich denken: nehmen wir an, beide Netzhäute seien in der jedem Auge zukommenden Stellung über einander gelegt, so decken sich entsprechende Punkte beider Netzhautbilder entweder deshalb nicht, weil der eine linear gegen den andern verschoben ist, oder deshalb nicht, weil der eine im Vergleich zum andern eine Winkelverschiebung erfahren hat. In Wirklichkeit werden in den meisten Fällen Verschiebungen beider Art stattfinden, aber eine vollkommene Deckung wird überhaupt nur dann stattfinden, wenn beide Verschiebungen Null sind. Nennen wir daher totalen Horopter den Inbegriff derjenigen Raumpunkte, für welche diese Bedingung verwirklicht ist, so können wir denselben aus einem Horopter der linearen Verschiebung und aus einem Horopter der Winkelverschiebung zusammensetzen: im ersteren ist im Allgemeinen die Winkelverschiebung, im zweiten die

lineare Verschiebung nicht aufgehoben, der totale Horopter aber ist die Gesammtheit derjenigen Punkte, in welchen der Horopter der linearen Verschiebung und der Horopter der Winkelverschiebung zusammentreffen. — Damit ist uns der Gang der Untersuchung vorgezeichnet: wir haben nach einander die letztgenannten partiellen Horopteren zu bestimmen, es ist dann der totale Horopter von selbst gegeben.

Um den Horopter der linearen Verschiebung zu ermitteln, nehmen wir an, es finde in sämmtlichen Augenstellungen keine Incongruenz durch Drehung um die Sehaxe statt, es frägt sich: welches sind bei dieser Voraussetzung die binokular sich deckenden Punkte im Raum?

Diese Punkte werden offenbar diejenigen sein, in denen die von den correspondirenden Netzhautstellen gezogenen Richtungsstrahlen sich schneiden. Denken wir uns, um diese Punkte zu finden, von beiden Augen eine gemeinsame Verticalprojection, Fig. 9., entworfen, $f\,b$ sei die Projection beider Sehaxen, k die Projection der Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen. Die Verticalprojectionen der Richtungsstrahlen aller Punkte gehen durch die Projection k, man sieht ferner, dass, wenn die Projectionen zweier Richtungsstrahlen in k sich schneiden, dieselben in keinem andern Punkt des Raumes zusammenfallen können, Richtungsstrahlen aber, deren Projectionen keinen Punkt gemeinsam haben, können sich auch nirgends durchschneiden; wären also z. B. $c\,d$ und $e\,g$ die Projectionen zwei solcher Strahlen, von denen der eine dem rechten, der andere dem linken Auge zugehörte, so würde auf dem correspondirenden Punkte c und e nicht derselbe Punkt im Raum sich abbilden, für beide würde kein Horopterpunkt vorhanden sein.

Fig. 9.

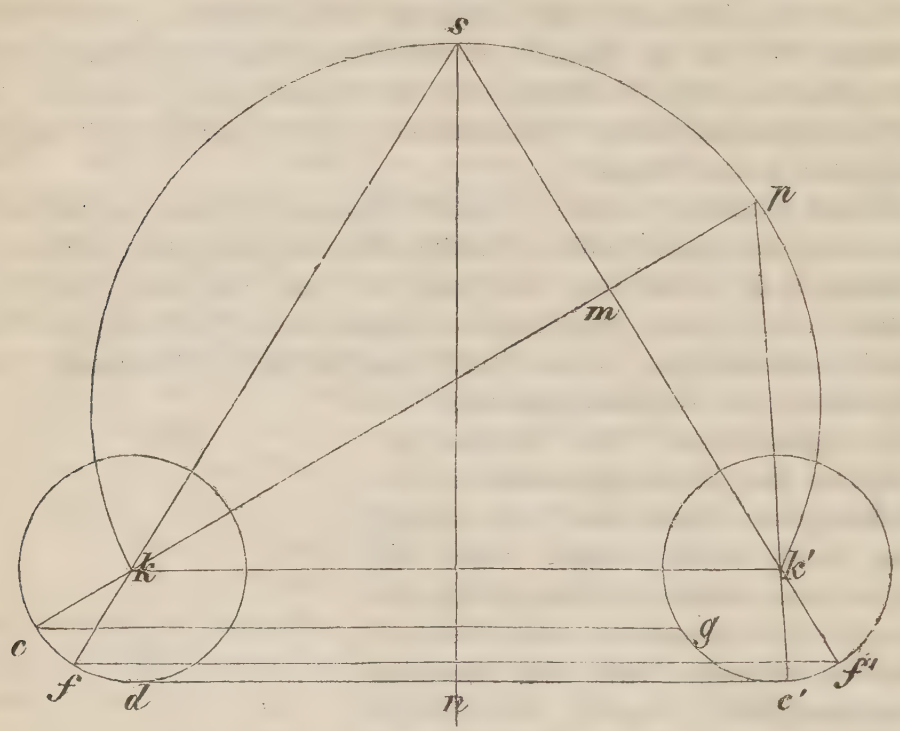


Es ist nun zunächst klar, dass sämmtliche Richtungsstrahlen, deren Verticalprojectionen mit $f\,b$ zusammenfallen, der aufgestellten Bedingung genügen; die Netzhautpunkte aber, von denen diese Richtungsstrahlen ausgehen, sind in den durch die Sehaxen beider Augen gelegten grössten Kreisen gelegen. Alle Punkte, welche in dem durch die Visirebene aus beiden Augen ausgeschnittenen Meridian liegen, sind also in der Weise sich zugeordnet, dass der von jedem Punkt im Meridian des einen Auges ausgehende Richtungsstrahl sich in einem bestimmten Punkt des äussern Raumes mit einem vom correspondirenden

Punkt im andern Auge ausgehenden Richtungsstrahl schneidet. Die Aufgabe besteht jetzt nur noch darin, den Ort dieser Durchschnittspunkte im äussern Raum aufzufinden.

Fig. 10. sei der mit der Visirebene erhaltene Durchschnitt beider Augen, k k' seien die Kreuzungspunkte der Richtungs-

Fig. 10.



strahlen, $f\,s$ und $f'\,s$ die beiden Sehaxen. Correspondirend sind sich solche Punkte, die gleich weit von f oder f' und nach derselben Seite hin gelegen sind, z. B. die Punkte c und c'. Es frägt sich: wie ist der Durchschnittspunkt der Richtungsstrahlen $c\,p$ und $c'\,p$ zu dem Durchschnittspunkt s der beiden Sehaxen gelegen? Man sieht sogleich, dass in den Dreiecken $p\,m\,k'$ und $s\,m\,k$ die Winkel bei k und k' einander gleich sind, ebenso sind die Winkel bei m als Scheitelwinkel einander gleich, folglich müssen auch drittens die Winkel bei s und p einander gleich sein. Dasselbe lässt sich für die Durchschnittspunkte der Richtungsstrahlen je zwei anderer in dem gleichen grössten Kreis der Netzhäute gelegener correspondirender Punkte beweisen, d. h. die Winkel aller correspondirenden Richtungsstrahlen sind gleich, es sind somit diese Winkel Peripheriewinkel eines Kreises, der durch den Fixationspunkt und die Augenmittelpunkte gelegt ist. Ein Abschnitt dieses Kreises, z. B. $s\,p$, umfasst die gleiche Anzahl von Winkelgraden wie

die Summe seiner Netzhautbilder, $c\,f + c'\,f'$, denn jedes dieser letzteren entspricht einem Centriwinkel, der Bogen $s\,p$ aber einem Peripheriewinkel von gleicher Grösse.

Der in der Visirebene gelegene durch den fixirten Punkt und die Augenmittelpunkte gelegte Kreis enthält aber nicht alle Punkte, deren Netzhautbilder sich decken, sondern wenn es correspondirende Punkte über oder unter dieser Ebene giebt, deren Verticalprojectionen zusammenfallen, so werden auch die Verticalprojectionen ihrer Richtungsstrahlen zusammenfallen, und diese werden in irgend einem Punkt des äussern Raumes sich durchschneiden. Man denke sich irgend zwei solcher correspondirender Punkte über oder unter der Visirebene horizontal projicirt, f und f', c und c' seien z. B. solche Horizontalprojectionen. Man sieht nun leicht, ob die Verticalprojectionen dieser Punkte zusammenfallen oder nicht. Man errichte auf der Mitte der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte eine Senkrechte $s\,n$, dann ziehe man von den correspondirenden Punkten $f\,f'$, $c\,c'$ u. s. w. Senkrechte auf $s\,n$. Wenn diese Senkrechten zusammenfallen, so ist es klar, dass auch die Verticalprojectionen der entsprechenden correspondirenden Punkte zusammenfallen, wenn die Senkrechten aber nicht zusammenfallen, so sind die Verticalprojectionen der correspondirenden Punkte verschieden, und die Verticalprojectionen ihrer Richtungsstrahlen kreuzen sich, es entspricht ihnen also kein Horopterpunkt. In der Figur sieht man, dass nur die correspondirenden Punkte f und f', deren Richtungsstrahlen sich im Endpunkt der Linien $s\,n$ durchschneiden, dieselbe Verticalprojection haben, während z. B. die Verticalprojectionen von c und c' mit nicht correspondirenden Punkten g und d zusammenfallen; die Richtungsstrahlen solcher nicht correspondirender Punkte, deren Verticalprojectionen zusammenfallen, kreuzen sich aber nirgends, sondern laufen einander parallel, es haben ferner diese Punkte eine um so differentere Lage, je grösser der Convergenzwinkel wird, und sie gehen in correspondirende Punkte über bei dem Convergenzwinkel Null, dann aber sind die Richtungsstrahlen aller correspondirenden Punkte parallel gerichtet, auch diejenigen, deren Horizontalprojectionen nach f und f' fallen. Da in diesem Fall zugleich der Halbmesser des durch den Fixationspunkt und die Augenmittelpunkte gelegten Kreises unendlich gross wird, so folgt, dass bei parallel gerichteten Sehaxen der Horopter eine ebene Fläche ist. Bei allen Convergenzstellungen dagegen haben ausser den Richtungsstrahlen, die von den correspondirenden Punkten in der Visirebene kommen, nur diejenigen correspondirenden

Richtungsstrahlen einen Durchschnittspunkt im Raume, deren Horizontalprojection den horizontalen Horopterkreis da trifft, wo er von einer in der Visirebene auf die Mitte der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte errichteten senkrechten Linie geschnitten wird. Die Netzhautpunkte, denen diese Richtungsstrahlen entsprechen, sind jederseits in einem grössten Kreis der Netzhaut gelegen, der zu dem grössten Kreis der horizontalen Horopterpunkte senkrecht steht, und der in jedem Auge von einer durch den Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen auf der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte errichteten senkrechten Ebene nach aussen abweicht, um einen Winkel, welcher gleich der Hälfte des Convergenzwinkels ist. Die Punkte im Raume, in welchen die von diesen Netzhautpunkten ausgehenden Richtungsstrahlen sich durchschneiden, sind aber in einer Linie gelegen, die zur Visirebene in dem Punkte senkrecht steht, wo eine in der Visirebene mitten auf der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte errichtete Senkrechte den horizontalen Horopterkreis trifft.

Der Horopter der linearen Verschiebung besteht somit bei allen Convergenzstellungen aus einem durch den fixirten Punkt und die Augenmittelpunkte gelegten Kreis und aus einer in der Mitte der Peripherie dieses Kreises auf seine Ebene errichteten senkrechten Linie. Dieser Horopter hat daher eine constante Lage zur Visirebene, welche Neigung diese auch haben mag, und er ist, wenn der Convergenzwinkel derselbe bleibt, unabhängig von der Lage des fixirten Punktes, er ist derselbe, ob der fixirte Punkt in der Mittelebene oder seitlich gelegen ist, ob also die Augenstellung eine symmetrische oder asymmetrische ist, im erstern Fall geht aber die verticale Horopterlinie durch den fixirten Punkt, während dieser im letztern Fall seitlich von derselben abweicht.

Ich gehe jetzt über zur Bestimmung des Horopters der Winkelverschiebung. Hier ist die Aufgabe, diejenigen Raumpunkte zu finden, in Bezug auf welche die Winkelverschiebung correspondirender Netzhautpunkte verschwindet, ohne Rücksicht auf eine etwa dann noch vorhandene geradlinige Verschiebung derselben. Die Lösung dieser Aufgabe ist bereits im vorigen Abschnitt geschehen, wo wir die durch die Drehung um die Sehaxe bedingte Incongruenz der Netzhäute experimentell bestimmten. Wir haben dort zugleich gesehen, dass es immer zwei symmetrische Lagen der Objectebene giebt, für welche diese Incongruenz aufgehoben ist. Die Lage dieser Ebenen weicht von der auf der Halbirungslinie des Convergenzwinkels senkrechten Ebene (dem binokularen Sehfeld) um so mehr ab,

je stärker die Incongruenz der Netzhäute ist, und sie fällt mit derselben zusammen, wenn kein Auge in Bezug auf das gewählte binokulare Sehfeld eine Drehung um die Sehaxe erfahren hat, dann gehen also beide Ebenen in eine einzige über. Der Horopter der Winkelverschiebung ist somit immer in zwei Ebenen, beziehungsweise in einer Ebene gegeben. Im letztern Fall bedeutet dies entweder, dass überhaupt keine Incongruenz der Netzhäute vorhanden ist, und dies dann, wenn die Sehaxen parallel gerichtet sind, also die monokularen Sehfelder mit dem binokularen Sehfeld zusammenfallen, oder wenn die Visirebene horizontal steht, oder es bedeutet nur, dass keine Incongruenz vorhanden ist in Bezug auf das binokulare Sehfeld, und dies dann, wenn die Sehaxen in einer Convergenzstellung sind, und die Visirebene geneigt ist.

Der totale Horopter ergiebt sich aus dieser Bestimmung der partiellen Horopteren unmittelbar. Gehen wir aus von den symmetrischen Convergenzstellungen, bei welchen Winkelverschiebung in Bezug auf das binokulare Sehfeld vorhanden ist. Der Horopter der linearen Verschiebung ist hier eine durch den Fixationspunkt und die Augenmittelpunkte gelegte Kreislinie und eine im Fixationspunkt zur Visirebene errichtete Senkrechte. Von den Punkten dieses Horopters bleibt zunächst trotz der Winkelverschiebung der fixirte Punkt stehen, der natürlich unter allen Umständen auf correspondirende Netzhautstellen fällt, dagegen wird die im Fixationspunkt errichtete Senkrechte wegen der Winkelverschiebung in gekreuzten Doppelbildern gesehen, man kann sie aber alsbald auf correspondirende Netzhautstellen überführen, wenn man sie um einen bestimmten Winkel nach einer Richtung hin dreht, dann kommt nämlich die Linie in den verticalen Durchschnitt des Horopters der Winkelverschiebung zu liegen, d. h. dahin wo die Ebenen des letzteren Horopters sich durchschneiden. Geht also die Neigung der Doppelbilder nach innen (die Drehung des Auges nach aussen), so muss jene Linie mit ihrem obern Ende vom Auge weggedreht werden, geht die Neigung der Doppelbilder nach aussen (die Drehung des Auges nach innen), so muss die Linie mit ihrem obern Ende gegen das Auge zu gedreht werden. Der in der Visirebene gelegene Horopterkreis endlich hat zwei Punkte mit den Horopterebenen der Winkelverschiebung gemeinsam, alle übrigen Punkte desselben fallen auf disparate Netzhautstellen. Bei allen symmetrischen Convergenzstellungen mit Winkelverschiebung ergiebt sich uns somit als totaler Horopter eine in der Medianebene durch den Fixationspunkt gezogene Linie, die irgend wie zur Visirebene geneigt ist, und zwei in

der Visirebene gelegene Punkte, rechts und links in gleichem Abstand vom Fixationspunkt und einer durch den Fixationspunkt und die Augenmittelpunkte gezogenen Kreisperipherie angehörig. Der totale Horopter reducirt sich somit in diesem Falle auf eine verticale Horopterlinie und zwei horizontale Horopterpunkte. Je grösser in der vorhandenen Augenstellung die Winkeldrehung ist, um so stärker wird die Neigung der verticalen Horopterlinie zur Visirebene, und um so grösser wird der Abstand der horizontalen Horopterpunkte vom Fixationspunkt.

Ist die Convergenzstellung der Augen eine asymmetrische, so bleibt, wie wir gesehen haben, der Horopter der linearen Verschiebung derselbe, aber die zur Visirebene senkrechte Horopterlinie geht in diesem Fall nicht durch den fixirten Punkt, sondern liegt zur Seite desselben. Es gehört daher kein Punkt dieser Linie dem totalen Horopter an, und es lässt sich dieselbe auch nicht in den letzteren überführen, denn, wenn man auch durch Neigung der Linie die Kreuzung ihrer Doppelbilder zum Verschwinden bringt, so decken sich dieselben mit ungleichen Punkten, d. h. man hat der Winkelverschiebung eine lineare Verschiebung substituirt. Bei allen asymmetrischen Convergenzstellungen reducirt sich daher der totale Horopter auf den fixirten Punkt und zwei in gleichem Abstand von demselben rechts und links befindliche Punkte. Der ganze Horopter besteht in diesem Fall aus drei horizontalen Punkten, deren Abstand um so grösser wird, je grösser die Winkeldrehung der Augen ist.

Endlich haben wir noch diejenigen Convergenzstellungen ins Auge zu fassen, für welche die Winkeldrehung in der Projection auf das binokulare Sehfeld Null ist. Es sind dies immer nur symmetrische Convergenzstellungen. Hier geht offenbar der Horopter der queren Verschiebung unmittelbar in den totalen Horopter über: die verticale Horopterlinie wird senkrecht zur Visirebene, und die horizontalen Horopterpunkte erweitern sich zu einer Kreislinie.

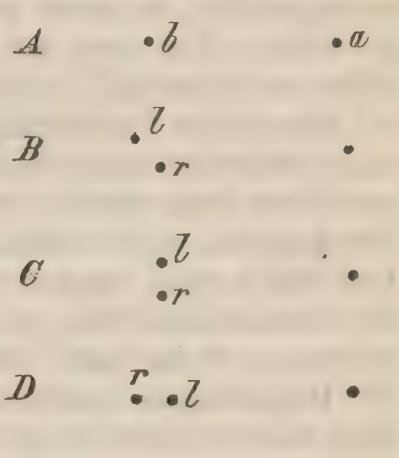
Wir haben somit in Bezug auf den totalen Horopter vier Fälle zu unterscheiden: 1) bei paralleler Augenstellung ist der Horopter eine ebene zur Richtung der Sehaxen senkrechte Fläche, (wir sehen hierbei ab von den geringen Incongruenzen, die bei paralleler Augenstellung vorkommen,) 2) bei den symmetrischen Convergenzstellungen ohne Winkeldrehung ist der Horopter eine durch den Fixationspunkt und die Augenmittelpunkte gelegte Kreislinie und eine im Fixationspunkt senkrecht zur Visirebene errichtete Gerade, 3) bei den symmetrischen Convergenzstellungen mit Winkeldrehung ist der Horopter eine

in der Mittelebene durch den Fixationspunkt gezogene Gerade, die zur Visirebene geneigt ist, nebst zwei in gleichem Abstand von derselben in der Visirebene befindlichen Punkten, 4) bei den asymmetrischen Convergenzstellungen besteht der Horopter aus dem fixirten Punkt und zwei andern gleichfalls in der Visirebene und in gleichem Abstand von ihm gelegenen Punkten.

Es bleibt mir jetzt noch die Aufgabe, die in Bezug auf den totalen Horopter gefundenen Thatsachen direct auf experimentellem Wege zu prüfen.

Die Lage des Horopters der linearen Verschiebung und des Horopters der Winkelverschiebung zu einander lässt sich durch folgenden einfachen Versuch zeigen. Man mache zwei möglichst feine Punkte, *a b* Fig. 11. *A*, auf ein Blatt Papier, bringe dieses in die Lage des binokularen Sehfeldes und fixire scharf den Punkt *a*, der Punkt *b* erscheint in allen Fällen in Doppelbildern, die, wenn blos Winkeldrehung stattgefunden hat, in senkrechter Richtung aus einander weichen müssen, wie in *C*, die, wenn blos lineare Verschiebung vorhanden ist, in horizontaler Richtung aus einander weichen müssen, wie in *D*, und die, wenn beide Arten von Verschiebung vorhanden sind, nach beiden Richtungen hin verschoben sind. Erscheint also der Punkt *b* wie in *C*, so ist er im Horopter der linearen Verschiebung gelegen, erscheint er wie in *D*, so ist er im Horopter der Winkelverschiebung gelegen, erscheint er wie in *B*, so liegt er ausserhalb beider Horopteren, erscheint er aber wie in *A*, so fällt er mit beiden Horopteren, d. h. mit dem totalen Horopter, zusammen. Man halte nun z. B. bei horizontaler Richtung der Visirebene das Papier senkrecht zu derselben und fixire in starker Convergenz den Punkt *a*. Man sieht dann den Punkt *b* in Doppelbildern, die wie in *B* gegen einander verschoben sind, *r* gehört dem rechten, *l* dem linken Auge an, wie man sich durch abwechselndes Schliessen des einen und andern Auges leicht überzeugt. Dreht man jetzt das Papier um eine durch *a* gelegte verticale Axe, indem man *b* dem Angesicht nähert, so kommen sehr bald die Doppelbilder in die Lage *C*, und bei weiterer Drehung gehen sie endlich in die Lage *D* über. Die Stellung, welche die Doppelbilder *l* und *r* in *B* und C zu einander zeigen, entspricht einer Winkeldrehung derselben nach innen, also einer

Fig. 11.



Drehung des Auges nach aussen, wie sie nach unsern frühern Versuchen in der That in dieser Augenstellung vorhanden ist. — Man kann den Versuch, wenn er eine hinreichend deutliche Beobachtung der Doppelbilder zulassen soll, nicht wohl so einrichten, dass man den Punkt b direct in den totalen Horopter bringt, also unmittelbar das Bild A erhält, da bei den starken Convergenzstellungen, die man wählen muss, die Entfernung der horizontalen Horopterpunkte zu gross ist, um eine deutliche Beobachtung derselben im indirecten Sehen zu gestatten; dagegen lässt sich leicht constatiren, dass die horizontale Entfernung der Doppelbilder r und l in D um so kleiner wird, je weiter man mit b von a wegrückt.

Man erhält ganz analoge Resultate bei andern Stellungen der Visirebene. Bei einiger Uebung im indirecten Sehen und bei geeigneter Entfernung der fixirten Punkte ist der Versuch so augenfällig als man nur wünschen kann. Besonders ist erforderlich, dass man die beobachteten Punkte dem Auge möglichst nahe bringt*). Ein zweiter Versuch ist folgender:

Man fixire bei starker Convergenz einen bestimmten Punkt, z. B. die Spitze einer Nadel. Man halte einen möglichst feinen verticalen Stab seitlich vom Fixationspunkte, z. B. eine dünne Stricknadel, und beobachte dieselbe im indirecten Sehen. Die Stricknadel erscheint in gekreuzten Doppelbildern, deren Kreuzungswinkel um so grösser wird, je mehr man mit derselben zur Seite geht. Beachtet man scharf den Ort, wo sich die Doppelbilder durchschneiden, so bemerkt man Folgendes. Hält man die Stricknadel so, dass ihr Durchschnitt mittelst der Visirebene mit dem fixirten Punkt in einer zur Verbindungslinie der Augenmittelpunkte parallelen Geraden liegt, so befindet sich der Durchschnittspunkt etwas höher als der fixirte Punkt. Rückt man mit der Stricknadel ferner, so rückt der Durchschnittspunkt noch mehr in die Höhe, geht man mit derselben näher, so rückt dagegen der Durchschnittspunkt herab, er kommt zuerst mit dem Fixationspunkt in eine Höhe zu

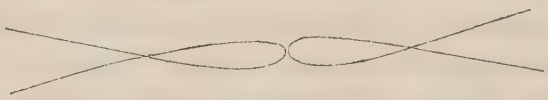
*) Die obigen Versuche stehen mit den von Meissner S. 59 u. fg. seiner „Beiträge" beigebrachten Angaben in directem Widerspruch. Ich kann nicht entscheiden, ob dieser Widerspruch darin seine Ursache hat, dass bei Meissner die oben angeführte Vorsichtsmassregel nicht erfüllt war. Diejenigen, die mit Rücksicht hierauf diese Versuche wiederholen wollen, werden, wenn sie im indirecten Sehen einigermassen geübt sind, leicht die obigen Angaben bestätigen können. Noch bemerke ich, dass Kurzsichtige hier wie bei den Horopterversuchen überhaupt begünstigt sind, da die Erscheinungen bei stärkeren Convergenzgraden immer auffallender werden. Solche, die nicht kurzsichtig sind, werden daher gut thun, ihr Auge für diese Versuche mit einer Convexbrille zu bewaffnen.

liegen und sinkt dann bei weiterer Annäherung immer tiefer. Die Punkte, mit welchen sich die Doppelbilder durchschneiden, sind aber verschiedene; man bemerkt dies daran, dass das eine Doppelbild etwas über das andere hervorragt. Bewegt man, nachdem die Stricknadel in solche Entfernung gebracht ist, dass der Durchschnittspunkt ihrer Doppelbilder mit dem fixirten Punkt in gleicher Höhe liegt, dieselbe nach der Seite, indem man sie so zu bewegen sucht, dass jener Durchschnittspunkt in der gleichen Höhe bleibt, so bemerkt man, dass man hierzu ein Stück einer Kreislinie beschreiben muss. Achtet man bei dieser Bewegung zugleich auf die ungleiche Höhe der Doppelbilder, so findet man, dass diese Ungleichheit immer kleiner wird, dass man sich also einem Ort nähert, wo sich die Doppelbilder mit gleichen Punkten durchschneiden. Dieser Erfolg ist derselbe, mag man die Stricknadel nach rechts und links vom fixirten Punkte weg bewegen. Der Versuch beweist somit erstens, dass der horizontale Horopter der linearen Verschiebung wirklich einer Kreislinie nahe kommt, und zweitens, dass rechts und links vom fixirten Punkt noch ein Punkt vorhanden ist, der dem totalen Horopter angehört. Da ferner früher schon gezeigt worden ist, dass bei den symmetrischen Augenstellungen einer in der Medianebene durch den fixirten Punkt gezogenen Linie eine solche Neigung gegeben werden kann, dass ihre Doppelbilder vollständig, und zwar mit gleichen Punkten, sich decken, so ist damit die Beschaffenheit des totalen Horopters auch auf experimentellem Wege festgestellt. Rücksichtlich der Anstellung des letzterwähnten Versuchs will ich jedoch noch bemerken, dass, um bei demselben nicht in Irrthum zu verfallen, hauptsächlich eine unverrückte Fixation geboten ist und jedes Schielen nach dem indirect gesehenen Gegenstand hin, wozu man leicht geneigt ist, durchaus vermieden werden muss. Um ferner beobachten zu können, ob die Doppelbilder der Stricknadel mit gleichen oder ungleichen Punkten sich decken, darf man das obere Ende derselben nur etwa um einen Zoll über die Höhe des fixirten Punktes hervorragen lassen, damit man die grössere Höhe des einen oder andern Doppelbildes noch leicht bemerken kann.

Zum Schlusse will ich noch einen Versuch angeben, mittelst welchen man sich die Gestalt des horizontalen Theils des totalen Horopters unmittelbar zur Anschauung bringen kann. Man zeichne auf ein Papier eine möglichst feine horizontale Linie, markire in der Mitte derselben einen Punkt und fixire diesen Punkt bei starker Convergenz. Man sieht dann, wenn man das Papier zur Visirebene senkrecht hält, die Linie in Doppel-

bildern, die im fixirten Punkt sich kreuzen. Nun gebe man dem Papier, während man den Fixationspunkt unverrückt lässt, eine cylindrische Krümmung, so dass die beobachtete Linie ein Stück eines Kreises bildet. Alsbald bemerkt man, dass auch die vorher geraden Doppelbilder der Linie sich krümmen, und wenn der Kreis, in den man diese gerollt hat, die geeignete Krümmung hat, so ist die Krümmung beider Doppelbilder symmetrisch. Dann aber durchschneiden sich die Curven der Doppelbilder nicht nur im fixirten Punkt, sondern auch rechts und links von demselben in gleich weit entfernten Punkten, und auch diese Durchschnittspunkte gehören entsprechenden Punkten beider Doppelbilder an. Fig. 12. zeigt die Form,

Fig. 12.



welche die Doppelbilder in diesem Fall annehmen. — Verändert man die Krümmung des Papiers, so ändern auch die seitlichen Durchschnittspunkte der Doppelbilder ihren Ort, zugleich aber ändert sich die Krümmung der Doppelbilder so, dass sie sich nicht mehr mit identischen Punkten durchschneiden.

Die mitgetheilten Versuche bestätigen vollständig die in Bezug auf den totalen Horopter gezogenen Folgerungen. Jetzt würde es sich darum handeln, die Frage zu beantworten: welchen Werth haben diese Ermittelungen für unsere Gesichtswahrnehmungen? — Ich habe schon oben erwähnt, dass man durchweg der Hypothese gehuldigt hat, Einfachsehen und Sehen mit correspondirenden Netzhautstellen sei mit einander identisch. Sollte diese Hypothese richtig sein, so wären mit der Feststellung des totalen Horopters die hauptsächlichsten Probleme erledigt, die in Bezug auf das Sehen mit zwei Augen sich aufstellen lassen: es würde damit unmittelbar der Ort der einfach- und der doppeltgesehenen Objectpunkte im Raume gegeben sein, es würde sich nur darum handeln für jede bestimmte combinirte Augenstellung den Horopter zu construiren. — Ich habe bereits darauf hingewiesen, dass jene Hypothese nicht hinreichend in der Beobachtung begründet zu sein scheint, es wurde auch schon auf einen einzelnen Fall aufmerksam gemacht, der mit jener Hypothese nicht in Uebereinstimmung steht. Es wird die Aufgabe des folgenden Abschnittes sein, diese Untersuchung methodisch aufzunehmen, um wo möglich definitiv die Frage zur Entscheidung zu bringen, in welcher Weise Ein

fachsehen und Sehen mit correspondirenden Netzhautstellen zusammenhängen.

4. Ueber die binokulare Tiefenwahrnehmung.

Wheatstone ist der erste gewesen, dessen Aufmerksamkeit auf die Thatsache gerichtet wurde, dass von nahen Objecten in jedem Auge eine verschiedene perspectivische Ansicht entworfen wird. Die Bemerkung dieser Thatsache hat ihn bekanntlich zur Erfindung des Stereoskopes geführt, dieses wichtigsten Werkzeuges, das die experimentelle Psychologie bis heute besitzt. Durch die Zergliederung der natürlichen und der künstlich erzeugten stereoskopischen Erscheinungen wurde aber Wheatstone veranlasst, die Lehre von der Identität der Netzhautstellen anzugreifen. Dass in zahlreichen Fällen mit nicht correspondirenden Stellen einfach gesehen werde, bewiesen ja die stereoskopischen Versuche, und dass unter Umständen mit correspondirenden Netzhautstellen sogar doppelt gesehen werde, glaubte Wheatstone gleichfalls durch den Versuch beweisen zu können. Dieser Versuch ist folgender*):

Man biete dem rechten Auge eine verticale und dem linken eine etwas geneigte Linie dar; bringt man beide Bilder zur Vereinigung, so sieht man eine Linie, die mit ihrem obern Ende jenseits der Ebene des Papiers liegt, mit ihrem untern Ende sich gegen das Auge zu erstreckt. Es werde nun durch den Mittelpunkt der dem linken Auge dargebotenen geneigten Linie eine verticale Linie gezogen, welche der für das rechte Auge bestimmten Verticallinie vollkommen parallel, aber etwas schwächer ist. Bringt man nun die Linien wieder zur Vereinigung, so kann man zwar jetzt auch die zwei parallelen Linien vereinigen, und es ist dann überhaupt keine stereoskopische Erscheinung vorhanden, aber man ist viel geneigter, die nicht parallelen Linien zur Vereinigung zu bringen, weil sie beide stärker gezogen sind. Dann sieht man aber die vereinigte Linie stereoskopisch wie vorhin, nur die schwächer gezogene Linie ist deutlich von ihr getrennt. Das Sammelbild scheint sich nämlich in die Tiefe und zugleich etwas nach rechts zu erstrecken, die schwächer gezogene Linie behält aber vollkommen ihre Lage bei, d. h. sie bleibt vertical und in der Ebene des Papieres**).

*) Wheatstone, Poggendorff's Annalen. Bd. 51. Ergänzungsband. 1842. S. 30.

**) Volkmann hat zwar der Angabe Wheatstone's widersprochen (Graefe's Arch. f. Ophthalm. V. 2. S. 72), aber es scheinen mir seine

Durch die Entdeckungen Wheatstone's ist die Lehre von der Identität der Netzhäute erschüttert, aber keineswegs gestürzt worden. Der Grund dieses geringen Erfolges liegt darin, dass es Wheatstone nicht gelang, das Gesetz aufzufinden, nach welchem das Einfachsehen der Objecte sich richtet; er versprach zwar einige Bedingungen, die er in Bezug auf das Einfach- und Doppelsehen aufgefunden habe, in einer künftigen Abhandlung mitzutheilen, aber dieses Versprechen ist unerfüllt geblieben. So kam es, dass die Identitätslehre selber sich jener Beobachtungen, die ursprünglich ihren Sturz zu veranlassen schienen, bemächtigte; da man eine neue Lehre an die Stelle der alten nicht zu setzen vermochte, so wurde der Versuch gemacht, die von Wheatstone gefundenen Thatsachen, deren wesentlichen Inhalt Jedermann bestätigen musste, in einer Weise zu deuten, dass sie sich dem Identitätsprincip zu fügen schienen. Es sind zwei verschiedene Erklärungsarten der stereoskopischen Erscheinungen entstanden, welche dies Ziel auf verschiedenen Wegen zu erreichen suchten, und von denen man die eine als eine physikalische, die andere als eine psychologische Hypothese bezeichnen kann.

Brücke suchte die Verschmelzung differenter Bilder und die daraus hervorgehende Tiefenwahrnehmung aus den Augenbewegungen abzuleiten*). Er ging dabei von der Thatsache aus, dass wir nie einen Körper in seiner Totalität vollkommen deutlich sehen, sondern immer nur den Punkt, in welchem die Sehaxen sich kreuzen. Er sagt nun, um ein deutliches Bild von einem Object zu gewinnen, fixiren wir in der Zeitfolge die verschiedensten Punkte desselben, bringen also nach einander die verschiedensten Punkte auf identische Netzhautstellen, und zwar auf die Stellen des deutlichsten Sehens, deren Empfindungen vor denen der seitlich gelegenen Netzhautstellen stets prävaliren. Fixiren wir nun bei der Betrachtung uns naher körperlicher Gegenstände oder bei den stereoskopischen Versuchen nach einander verschiedene Punkte des Objektes, so erfährt dabei unsere Sehweite fortwährende Schwankungen,

---

Ausstellungen auf einem Missverständniss zu beruhen, das allerdings durch die unklare Ausdrucksweise Wheatstone's veranlasst wurde. Volkmann scheint nämlich die Sache so aufzufassen, als wenn Wheatstone meine, die schwache Linie verändere ihren Ort im Sammelbild, d. h. habe im Sammelbild einen andern Ort als vorher. Dies würde allerdings unrichtig sein. Wenn Wheatstone das Richtige gemeint hat, so kann er nur sagen wollen, dass die schwache Linie einen andern Ort einnehme als das Sammelbild der beiden starken Linien; diese Thatsache ist es aber gerade, die mit der strengen Identitätslehre im Widerspruch steht.

*) Müller's Archiv. 1841. S. 459.

wir laufen mit unserer Sehweite fortwährend vom entferntesten zum nächsten Punkt des Gegenstandes und umgekehrt, und dieses Schwanken der Sehweite giebt uns unmittelbar den Eindruck eines einfachen Gegenstandes, weil wir die verschiedenen Punkte desselben auf die identischen Punkte des deutlichsten Sehens bringen, und eines nach drei Dimensionen sich ausdehnenden Körpers, weil unsere Sehaxenconvergenz fortwährend wechselt und wir jeden deutlich gesehenen Punkt an die Stelle des Raumes verlegen, wo sich unsere Sehaxen kreuzen.

Der Ansicht von Brücke im Wesentlichen gleich war die Anschauung, die Tourtual vertrat und experimentell zu stützen suchte.*) Die Hauptschwierigkeit dieser Erklärungsweise lag darin, dass sie den die räumliche Tiefenwahrneh mung vermittelnden Augenbewegungen eine enorm grosse Geschwindigkeit zumuthete, da die Beobachtung zeigte, dass die stereoskopische Täuschung zu ihrem Entstehen oft eine nicht merkliche Zeit in Anspruch nahm, und dies war zugleich der Punkt, in welchem die Hypothese einer strengen experimentellen Prüfung zugänglich war, denn die Geschwindigkeit der Augenbewegungen ist messbar, und die Dauer der Gesichtseindrücke lässt sich in hohem Grade begrenzen. Die Hypothese hat diese Prüfung nicht bestanden. Dove**) zeigte zuerst, dass das körperliche Sehen durch das Stereoskop auch noch möglich ist bei der Beleuchtung durch den elektrischen Funken, also bei einer Dauer der Gesichtseindrücke, die jede Augenbewegung vollkommen ausschliesst. Derselbe Beweis ist von Volkmann mittelst eines eigenen Instrumentes geführt worden, das momentane Beleuchtung der stereoskopischen Objecte mit Tageslicht zuliess.***) — Es ist keine Frage, dass durch diese Versuche die Hypothese in der Form, in der sie aufgestellt wurde, als widerlegt zu betrachten ist; aber es wird noch zu untersuchen sein, ob nicht dennoch Brücke in Bezug auf die erste Entstehung der Tiefenwahrnehmung das Richtige getroffen hat, und ob nicht der Fehler der Hypothese blos darin besteht, dass sie das, was nur bei der Entwickelung der Wahrnehmungen wirksam war, auf jede einzelne spätere Wahrnehmung ausdehnte; ich werde auf diese Frage unten wieder zurückkommen.

---

*) Tourtual, Die Dimension der Tiefe. Münster. 1842.
**) Monatsberichte der Berliner Akademie. 1841. S. 251.
***) Sitzungsberichte der Gesellschaft d. Wissensch. zu Leipzig. 1859.

Die Widerlegung der Brücke'schen Erklärungsweise hat die psychologische Hypothese zur herrschenden erhoben. Nur von Panum wurde noch neuerdings der Versuch gemacht, eine physikalische oder vielmehr anatomische Hypothese zu bilden, welche den Thatsachen genügen sollte.*) Panum gerieth auf den Gedanken, die Theorie der Empfindungskreise, die E. H. Weber im Gebiet des Tastsinns zuerst aufgestellt, und die man dann auch auf das Auge angewandt hatte, auf das binokulare Sehen auszudehnen. Er sagte daher: jeder empfindende Netzhautpunkt des einen Auges hat einen correspondirenden Empfindungskreis im anderen Auge, der mit jenem zusammen eine einheitliche Empfindung vermittelt Die horizontale Ausdehnung dieser correspondirenden Empfindungskreise ist, nach Panum, um das 17—34fache grösser als die horizontale Ausdehnung eines Empfindungskreises im einzelnen Auge. — Damit glaubte Panum das thatsächlich vorhandene Einfachsehen mit nicht correspondirenden Punkten vollkommen befriedigend erklären zu können; aber das eigenthümliche Phänomen der Tiefenwahrnehmung, das hierbei auftritt, hatte natürlich für diese Erklärungsweise ihre Schwierigkeiten; denn ist ein ganzer Empfindungskreis einem correspondirenden Punkt physisch gleichwerthig, so müsste natürlich auch erwartet werden, dass er in der Beziehung des Eindrucks auf äussere Objecte ihm gleichwerthig sei. Panum sah jedoch keine Schwierigkeit, diesen Knoten zu durchhauen, indem er zur Erklärung des Phänomens der Tiefenwahrnehmung eine zweite Hypothese ersann, die freilich mit der ersten nicht vereinbar wäre, wenn Panum nicht auf das Feld der angeborenen Sinnesenergieen sich gerettet hätte, das bekanntlich ein breites Gebiet ist, auf dem Vieles was sich nicht verträgt Platz hat. Panum meint, wir dürften es als Thatsache ansehen, „dass wir einen jeden Netzhautpunkt, in Folge einer eigenthümlichen, angeborenen Sinnesempfindung, nicht durch das Urtheil, auf die ihm entsprechende Projectionslinie beziehen, und dass die Art der Empfindung der Tiefe, welche dem binokularen Sehen eigen ist, durch die wirklich empfundene Beziehung der Projektionslinien auf einander zu Stande kommt.“ Er schliesst daher weiter, es müsse „diese Empfindungsweise, ebensogut wie jede andere, im Gehirn, im Centralapparat für das Sehen, den wir, der leichteren Bezeichnung halber, centrale Retina genannt haben, ge-

*) Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen. Kiel 1858.

sucht werden. Hält man nun die gegenwärtige Hypothese fest, so muss man annehmen, dass jeder empfindende Punkt der centralen Retina für eine bestimmte Augenstellung zwar verschiedene Richtungsempfindungen habe, den Richtungen der Projectionslinien der demselben angehörigen Netzhautpunkte entsprechend. Die Beziehungen dieser Richtungsempfindungen zum äusseren Raume müssen sich aber ferner wie die Richtung der Projectionslinien selbst mit der Augenstellung ändern, so dass unzählige Richtungsempfindungen für jeden empfindenden Hirnpunkt möglich sein müssen, zugleich aber beim binokularen Sehen zwei, und nur zwei. Will man die gegenwärtige Hypothese auch hier consequent durchführen, so muss man ferner annehmen, dass die Richtungsempfindungen erst durch ihre Beziehung auf einander zu bestimmten, und bezüglich der Tiefe oder des relativen Abstandes fixirten Ortsempfindungen oder zur Empfindung der binokulären Parallaxe werden. Weiter lässt sich aber hier diese Hypothese nicht verfolgen, da unsere Kenntniss über den Ursprung der den einzelnen Netzhautpunkten entsprechenden Fasern im Hirn, und über die Anordnung der hieher gehörigen mikroskopischen Elemente so überaus gering ist, dass ein jeder Versuch, dies mit dem feineren Bau in Zusammenhang zu bringen, von vornherein unmöglich ist, selbst abgesehen davon, dass wir über die Art der Beziehung der Seele oder des empfindenden Bewusstseins zu den Nervenelementen durchaus Nichts wissen."

Ich habe die Hypothese Panum's mit seinen eigenen Worten hier ausführlich angeführt, weil es mir unmöglich gewesen ist, sie in einem Auszug klar wiederzugeben, und weil doch in derselben ein Punkt enthalten ist, wegen dessen ich sie nicht ganz übersehen konnte. Dieser Punkt ist die von Panum so genannte Empfindung nach der Richtung der Projectionslinien. Hierin liegt nämlich vielleicht eine Ahnung des Richtigen, aber eine Ahnung, die so unklar und so sehr mit widersprechenden Elementen vermengt ist, dass sie keinen Werth hat. — Einer eingehenderen Kritik der Panum'schen Ansicht kann ich mich hier füglich enthalten. Bezüglich der Ausdehnung der Theorie der Empfindungskreise auf das binokulare Sehen will ich, da diese Manchem auf den ersten Blick ein nicht unglücklicher Gedanke scheinen könnte, auf Volkmann's Bemerkungen hierüber verweisen, in denen das Uebereilte einer solchen Annahme genügend dargethan ist.*)

*) Graefe's Arch. f. Ophthalmologie. Bd. V. 2. S. 12.

Die Panum'sche Ansicht kann als ein letzter vereinzelter Ausläufer der anatomischen Hypothese der Sinneswahrnehmungen auf diesem Gebiete betrachtet werden. Im Gebiete der binokularen Tiefenwahrnehmung war dieselbe bei weitem am frühesten zum Wanken gebracht worden, hier ist daher längst diejenige Hypothese, die ich oben als die psychologische bezeichnet habe, zur herrschenden geworden. Aber, wenn man diese psychologische Hypothese in der Form, in welcher sie uns bei den verschiedenen Schriftstellern über die stereoskopischen Erscheinungen vorliegt, in's Auge fasst, so kann man nicht umhin zu bemerken, dass dieselbe noch weit davon entfernt ist, zu einer abgeschlossenen Theorie geführt zu haben, dass sie im Gegentheil noch nicht einmal eine vollständig ausgeführte Hypothese genannt werden kann. Damit dass man die Erklärung der stereoskopischen Erscheinungen auf das psychologische Gebiet hinüberschob, schien man sich jeder weiteren Ausführung derselben überhoben zu glauben. Es ist dies noch eine Nachwirkung der alten grundfalschen Meinung gewesen, dass es im Gebiet des psychischen Geschehens keine Gesetzmässigkeit gebe. Hiernach wird es genügend sein, wenn ich die bisherige psychologische Hypothese in derjenigen Form berücksichtige, in welcher sie einer vollständigen Ausführung am nächsten kommt, in der Darstellung nämlich, die neuerdings von Volkmann gegeben wurde.*)

Volkmann gesteht das Einfachsehen bei Erregung differenter Netzhautpunkte als eine unzweifelhafte Thatsache zu, welche aus rein sinnlichen Vorgängen ein für allemal nicht abzuleiten sei, sondern bei der eine Mitwirkung des Urtheils angenommen werden müsse. Diese Wirkung des Urtheils sucht er sich auf folgende Weise zu erklären. Er sagt: „ein Gegenstand, welchen wir einfach sehen, weil er im Kreuzungspunkt der Sehaxen liegt, zerfällt in ein Doppelbild, wenn wir die Sehweite verändern, und ein vorhandenes Doppelbild wird einfach, wenn wir den Gegenstand, den es repräsentirt, fixiren. Indem kein Tag vergeht, an welchem wir nicht unzählige Male die Sehweite veränderten, häufen sich die Erfahrungen über die Doppelbilder sehr bald in's Unermessliche. Wir lernen erkennen, dass die Doppelbilder, welche nur von einer ungünstigen Einstellung der Augen abhängen, und welche wir durch willkürliche Bewegung sofort beseitigen können, der

*) Die stereoskopischen Erscheinungen in ihrer Beziehung zu der Lehre von den identischen Netzhautpunkten. Graefe's Archiv f. Ophthalmologie Bd. V. Abth. 2.

Realität nicht entsprechen, und entziehen ihnen, als werthlosen Phänomenen, unsere Aufmerksamkeit.“ Es kommt also zunächst darauf an, „dass Erfahrungen, welche wir über die Identität eines Objectes besitzen, uns gegen die von den Augen prädicirten Differenzen gleichgiltig machen.“ Solche Erfahrungen machen wir nun theils mit dem Auge selber, indem eben bei der Bewegung der Augen das doppelt Gesehene in Einfaches und das Einfache in Doppeltes übergeht, theils erhalten wir sie auf anderem Wege, besonders durch den Tastsinn. „Ist aber erst die Erkenntniss entstanden, dass zwei differente Bilder die sinnlichen Symbole eines uns wohlbekannten einfachen Dinges sind, so reagirt auch die Seele gegen die trüglichen Symbole, und sucht den Widerspruch zwischen dem was scheint und dem was ist auszugleichen. Das Urtheil geht in die Empfindung über, und wir sehen das Ding schliesslich nicht wie die Netzhautbilder es darstellen, sondern wie die Erkenntniss es auffasst.“

So erklärt sich nach Volkmann das Entstehen der Tiefenvorstellung bei den stereoskopischen Versuchen und bei den körperlichen Wahrnehmungen, ohne dass deshalb die Lehre von der Identität der Netzhäute ihre Gültigkeit verlöre. Volkmann glaubt daher, durch seine Erklärung den Widerspruch zwischen den Beobachtungen Wheatstone's und der Identitätslehre gelöst zu haben. „Diese behauptet: die organischen Einrichtungen der Augen sind derartige, dass identische Netzhautpunkte einfache räumliche Anschauungen bedingen. Sie behauptet aber nicht, dass die im Bau des Auges gelegenen Bedingungen die einzigen seien, von welchen unsere Raumanschauungen abhängen, und lässt die Frage ganz offen, ob und wie weit die vom Bau des Auges abhängigen Vorgänge modificirt werden. Selbstverständlich kann das, was auf den Grund einer einzigen Bedingung geschieht, nicht fortdauern, wenn eine zweite Bedingung hinzutritt, welche in die Form des Geschehens mit eingreift. Für die Raumanschauungen sind aber zwei Bedingungen gegeben, von welchen das Auge die erste, das Seelenorgan die zweite ist. Das Auge allein bedingt die Vorgänge, welche die Lehre von den identischen Netzhautpunkten anschaulich macht, die Seele aber bedingt diejenigen Modificationen jener Vorgänge, welche in den Wheatstone'schen Versuchen zu Tage kommen.“

Wir sehen somit, dass Volkmann noch strenge festhält an der Ansicht der Identitätslehre, und seine psychologische Hypothese besteht nur darin, dass er klar zu machen sucht, wie wir trotz der vorhandenen Doppelbilder in den stereos-

kopischen Versuchen einfach zu sehen vermögen. Er schiebt dies dann darauf, dass das Urtheil allmälig corrigirend eingreift in den Ablauf der wirklichen Empfindungen und diese nach seinen Erfahrungen modificirt. Die Seele hat also nach Volkmann eine a priori'sche Kenntniss von der Lage der Gegenstände im Raum, die ihr unmittelbar durch das räumliche Lageverhältniss von deren Netzhautbildern gegeben ist, aber diese Kenntniss ist unter Umständen falsch, weil das Netzhautbild nur nach zwei Dimensionen sich ausdehnt und daher in der Seele auch keine a priori'sche Anschauung einer dritten Dimension vorhanden ist; wo diese daher in der Wirklichkeit auftritt und die unmittelbare Anschauung confundirt, dadurch dass sie Doppelbilder der Gegenstände hervorruft, da muss die Seele erst durch Erfahrung die Ursache ihrer Doppelbilder kennen lernen, um sie dann auch auf ihre Ursache zu beziehen, um ihre a priori flächenhafte Anschauung nach der Tiefe des Raumes zu vervollständigen.

Dies muss nothwendig die Grundanschauung sein, die der Volkmann'schen Hypothese zu Grunde liegt, wenn sie auch Volkmann selbst in dieser Weise nicht ausgesprochen hat, es muss bei derselben angenommen werden, dass wir von den räumlichen Verhältnissen unserer Netzhautbilder eine unmittelbare Kenntniss besitzen und je zwei Bildpunkte, die auf correspondirende Netzhautstellen fallen, auf einen äusseren Raumpunkt beziehen; denn sollte etwa schon bei der Entstehung des flächenhaften Sehfeldes eine Thätigkeit der Seele als mitwirkend gedacht werden, so würde es ja nicht mehr nothwendig sein zu erklären, wie trotz der Doppelbilder bei den körperlichen Wahrnehmungen einfach gesehen wird, sondern es würde von vornherein wahrscheinlich sein, dass diejenigen Seelenprocesse, durch welche die Bildung des Sehfeldes zu Stande kommt, auch alsbald dasjenige ausscheiden werden, was nicht in das flächenhafte Sehfeld gehört, sondern in einem bestimmten Verhältniss zu demselben in der dritten Dimension des Raumes liegt, es würde dann von identischen Netzhautstellen in der bisherigen Bedeutung des Wortes überhaupt nicht mehr die Rede sein können. Volkmann's Ansicht wurzelt also noch ganz in der anatomischen Hypothese der Raumanschauung, welche die räumliche Wahrnehmung unmittelbar mit der räumlichen Anordnung der Empfindungen, also in diesem Fall mit dem physischen Netzhautbilde gegeben glaubt, sie überschreitet diese Hypothese genau nur da, wo dieselbe der Erfahrung am schroffsten widerspricht, um eine Mitwirkung des Urtheils zu Hülfe zu nehmen.

Die bisher erörterten Untersuchungen über die stereoskopischen Erscheinungen gehen alle aus von den äusseren Objecten, sie untersuchen die Netzhautbilder, welche von diesen in beiden Augen entworfen werden, sie finden, dass hierbei von je einem Objectpunkt entweder auf correspondirenden oder auf nicht correspondirenden Stellen das Bild entworfen wird, und sie suchen schliesslich zu entscheiden, welcher Erfolg in beiden Fällen für die Wahrnehmung eintritt. Es wird vielleicht nützlich sein, wenn wir einmal den umgekehrten Weg einschlagen, wenn wir statt von den Objecten von den Netzhautbildern ausgehen, diese auf ihrem Weg nach aussen verfolgen, und uns die Frage vorlegen: was wird aus dem Netzhautbild, wenn wir es auf bestimmte Verhältnisse des äusseren Raumes bezogen denken?

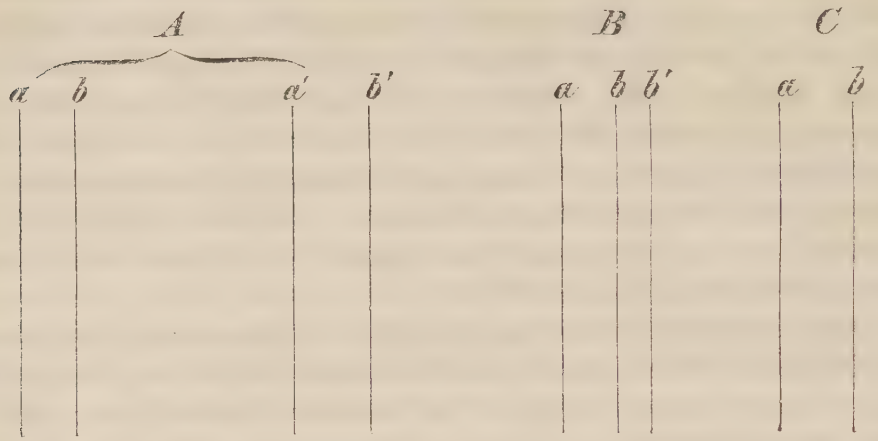
Die Methode dieser umgekehrten Untersuchung der stereoskopischen Erscheinungen ist eine sehr einfache. Sie gründet sich darauf, dass es Bilder in unserm Auge giebt, die von dem Gegenwärtigsein äusserer Objecte unabhängig sind, die Nachbilder. Indem wir ein Nachbild von willkürlich bestimmter Lage nach aussen projiciren auf Ebenen von beliebiger Richtung und Neigung, beantworten wir unmittelbar experimentell die Frage: wie verhält sich die Wahrnehmung, die durch ein gegebenes Netzhautbild vermittelt wird, wenn wir dasselbe in willkürlich zu verändernder Weise auf die Lageverhältnisse äusserer Objecte beziehen? und indem wir diese Untersuchung auf beide Netzhäute gleichzeitig anwenden, erfüllen wir unmittelbar die uns gesetzte Aufgabe: wir betrachten nicht objective stereoskopische Bilder, sondern wir projiciren subjective stereoskopische Bilder in den äusseren Raum.

Die Grundversuche dieser subjectiven Stereoskopie sind folgende:

Man befestige vier parallele verticale Streifen farbigen Papiers auf complementärem Grunde, z. B. gelbe Streifen auf violettem Grunde, in solcher gegenseitiger Entfernung, dass jedem Auge zwei Streifen geboten werden, und dass zugleich die Distanz zwischen den Streifen der beiden Augen eine verschiedene ist. Es seien also z. B. a, b, Fig. 13. A, die Streifen für das linke Auge, a', b' die für das rechte Auge. Man halte nun zwischen die Augen eine Scheidewand, so dass jedes nur die für es bestimmten Streifen sehen kann, um die Bildung von Doppelbildern zu verhüten. Man fixire nun a und a' so lange, bis man Nachbilder von hinreichender Dauer erzielt hat. Dann schiebe man vor den farbigen Bogen

einen grauen Papierbogen und fixire auf diesem einen zuvor markirten Punkt. Man erhält dann, wenn die Distanz von b und b' hinreichend gross gewählt wurde, ein complementäres

Fig. 13.

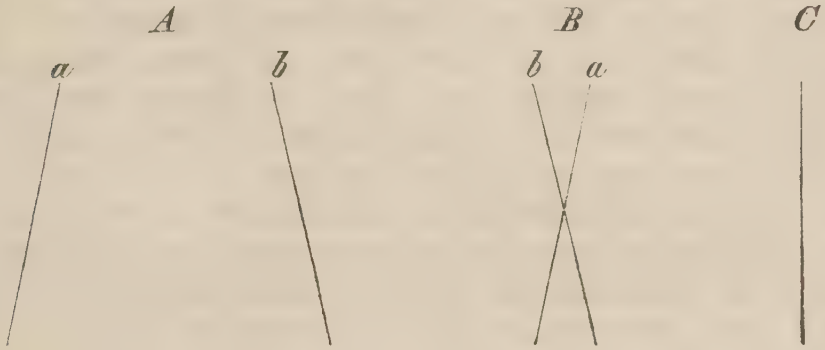


Nachbild B, das dem Sammelbild der in A beobachteten Streifen unmittelbar entspricht; die Nachbilder von a und a' fallen zusammen, b und b' liegen aber um die Distanz ihres Entfernungsunterschiedes von a, a' aus einander. Man drehe nun die Ebene B um eine Axe, die durch das gemeinsame Nachbild a geht, indem man den rechts von a gelegenen Theil der Ebene vom Auge wegdreht: jetzt sieht man die Nachbilder b, b' zusammenrücken und bei einer mittleren Entfernung sich vereinigen, so dass man nun ein Nachbild C hat, bei dem sowohl a und a' als b und b' zusammenfallen, und wo die horizontale Distanz $a\ b$ die mittlere ist zwischen den Distanzen $a\ b$ und $a'\ b'$ in A, wo aber zugleich das Bild b nach der Tiefe des Raums hin verschoben ist, so dass die Ebene C, in der das ganze vereinigte Nachbild liegt, nicht mehr parallel der ursprünglichen Ebene A ist, sondern mit derselben einen Winkel bildet. — Ganz der ähnliche Erfolg tritt ein, wenn man anfänglich nicht a und a', sondern b und b' vereinigt, man muss dann, um a und a' zur Vereinigung zu bringen, die Ebene um die Axe des gemeinsamen Nachbildes b so drehen, dass der links gelegene Theil der Ebene sich dem Auge nähert; in beiden Fällen erhält also die Ebene C, in der alle Nachbilder vereinigt sind, die gleiche Stellung. Würde man endlich nicht die Distanz $a'\ b'$, sondern die Distanz $a\ b$ zur grösseren gemacht haben, so könnten ebenfalls die Nachbilder zur Vereinigung gebracht

werden, nur müsste jetzt die Ebene nach der entgegengesetzten Richtung wie vorher gedreht werden, d. h. es würde das vereinigte Bild *b* nicht hinter, sondern vor *a* gelegen sein.

Der zweite Grundversuch ist folgender. Man befestige zwei Streifen farbigen Papiers, welche zu einander geneigt sind, auf complementärem Grunde. Man gebe denselben ungefähr die Distanz der Augen, bringe zwischen beide Augen wieder eine Scheidewand zur Verhütung von Doppelbildern und fixire die Mitte eines jeden Streifens. Es sei z. B., Fig. 14. *A*, *a* der Streifen für das linke, *b* für das rechte

Fig. 14.



Auge, man erhält ein gemeinsames Bild *B*, in welchem die beiden Streifen in ihrer Mitte sich kreuzen. Nachdem man das Bild hinreichend lange fixirt hat zur Erhaltung von Nachbildern, schiebe man wieder einen grauen Papierbogen vor, auf dem man einen zuvor markirten Punkt fixirt: das gemeinsame Nachbild hat dann gleichfalls die Form *B*, und der Durchkreuzungspunkt der beiden Nachbilder ist der fixirte Punkt. Man denke sich jetzt durch den fixirten Punkt eine horizontale Axe gelegt, und drehe das Papier so um dieselbe, dass dessen oberes Ende sich vom Auge entfernt. Jetzt sieht man die Nachbilder *a* und *b* sich nähern und bei einer bestimmten Neigung der Ebene sich zu einem mittleren einfachen Nachbilde vereinigen. Dieses vereinigte Nachbild *C* ist, wenn, wie in unserer Figur, die beiden Nachbilder gleiche Neigung haben, vertical gestellt, aber es liegt von demselben nur noch der fixirte Punkt am früheren Orte, weil die Ebene, auf die es projicirt wird, gedreht worden ist. — Giebt man den Streifen und also auch den Nachbildern die umgekehrte Neigung, so kann gleichwohl die Vereinigung herbeigeführt werden, nur muss man dann die Ebene um ihre horizontale Axe nach der entgegengesetzten Richtung hin drehen. Macht man endlich die Neigung der beiden Nachbilder verschieden gross,

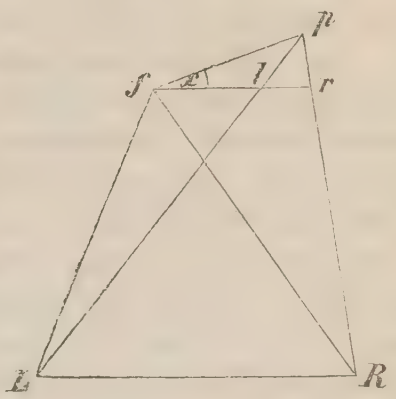
so kann wieder durch Drehung der Ebene die Vereinigung erzielt werden, aber das vereinigte Nachbild liegt jetzt nicht mehr in der Mittelebene, seine Projection auf die anfängliche Verticalebene ist nicht vertical, sondern weicht nach der Richtung des Nachbildes ab, das die stärkere Neigung hat. — Dieser Versuch mit den geneigten Nachbildern ist übrigens, wie man sieht, im Wesentlichen derselbe, den ich früher bei der Erörterung der Augenstellungen schon angegeben habe.

Die angeführten Grundversuche enthalten die Elemente aller stereoskopischen Versuche, die überhaupt sich denken lassen, in sich. Denn alle Fälle, die in diesen vorkommen können, lassen sich reduciren auf verschiedene Grösse horizontaler Distanzen oder auf verschiedene Neigung von Linien, so jedoch, dass hier wie dort eine bestimmte genau festzusetzende Grenze gegeben ist, über die hinaus der Distanz- oder Neigungsunterschied zu gross wird, um noch eine stereoskopische Vorstellung möglich zu machen.

Durch die subjectiven stereoskopischen Versuche ist bewiesen, dass nicht, wie die bisherige psychologische Hypothese immer noch angenommen hat, die Netzhautbilder, so lange sie auf nicht correspondirende Netzhautstellen fallen, in Wirklichkeit immer als Doppelbilder fortbestehen, von denen erst abstrahirt werden muss, um eine einfache Vorstellung zu erzielen, sondern dass, sobald die Netzhautbilder auf das richtige räumliche Lageverhältniss bezogen werden, diese Vereinigung mit eben der zwingenden Nothwendigkeit eintritt, mit der wir fortwährend den fixirten Punkt einfach zu sehen genöthigt sind. Es ist bei den beschriebenen Nachbilderversuchen auch mit der grössten Willensanstrengung nicht möglich, das durch Projection auf die geeignete Ebene vereinigte Bild disparater Netzhautstellen wieder zu trennen, während diese Trennung augenblicklich geschieht, sobald man die Lage der Ebene ändert, auf die man das Bild projicirt. Es erhellt hieraus leicht, dass keineswegs, wie wir nach der gewöhnlichen psychologischen Hypothese leicht zu denken geneigt sein möchten, bei der stereoskopischen Tiefenvorstellung eine gewisse Veränderlichkeit und Willkür herrscht, sondern dass wir die Netzhautbilder in genau bestimmter Weise objectiviren müssen, wenn die Eindrücke, die auf bestimmte disparate Netzhautstellen geschehen, in der Wahrnehmung zur Verschmelzung kommen sollen, so dass, wenn die Lage der Netzhautbilder und die Stellung des Auges bekannt sind, unsere Vorstellung von der räumlichen Ausdehnung des äusseren Objectes zu berechnen ist.

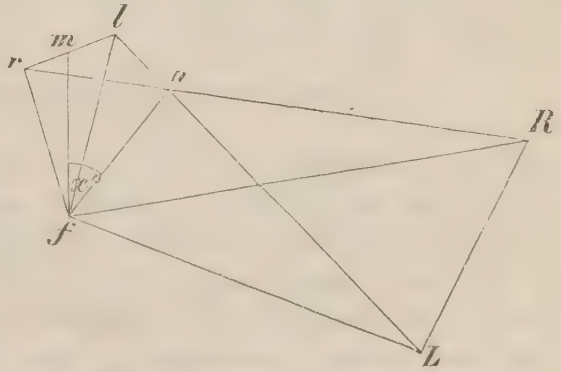
Zunächst lässt sich auf sehr einfache Weise durch Construction der Ort des gemeinsamen Bildes bestimmen. Fig. 15. entspricht dem ersten der obigen Versuche: f sei der fixirte Punkt, l und r seien die in der Visirebene gelegenen Punkte der Linien b und b', Fig. 13. B. Man erhält dann den Winkel x, um welchen das gemeinsame Sehfeld gedreht werden muss, um die Doppelbilder l und r zu vereinigen, wenn man von den Augen L und R aus durch den einem jeden entsprechenden Bildpunkt l und r Linien zieht; der Ort p, wo sich diese Linien durchschneiden, ist der Punkt, auf welchen projicirt die getrennten Bilder l und r sich vereinigen, und der Winkel, welchen fp mit fr einschliesst, ist der gesuchte Winkel x.

Fig. 15.



Die Fig. 16. entspricht dem zweiten der obigen Versuche. f sei wieder der fixirte Punkt, fl das Nachbild des linken, fr das Nachbild des rechten Auges, beide projicirt auf die zur Halbirungslinie des Convergenzwinkels senkrechte Ebene. Man ziehe nach zwei gleich weit von f entfernten Punkten dieser Nachbilder, l und r, von L und R aus die Linien Ll und Rr. Der Ort n, wo sich beide durchschneiden, ist der Punkt, auf welchen projicirt die doppelt gesehenen Punkte l und n verschmelzen. Das Aehnliche gilt von allen übrigen Punkten der Nachbilder fl und fr. Die Linie fn, welche alle Durchschnittspunkte der von L und R aus nach entsprechenden Punkten von fl und fr gezogenen Linien enthält, ist somit der Ort, auf welchen projicirt beide Nachbilder zur Vereinigung kommen. Ist fm die im binokularen Sehfeld Verticale, so ist demnach der Winkel x', den fm mit fn einschliesst, für den Fall, dass die Nachbilder gleiche Neigung haben, unmittelbar der gesuchte Winkel, um welchen die binokulare Sehebene um eine horizontale Axe gedreht werden muss, damit die Nachbilder sich

Fig. 16.



vereinigen. Ist aber fr und fl verschieden geneigt, so denke man sich durch fn eine Ebene gelegt, die zur Medianebene (der durch den Halbirungspunkt von $L\ R$ und durch f gelegten Verticalebene) senkrecht steht. Die Linie, in welcher jene Ebene von der Medianebene durchschnitten wird, bildet dann mit fm einen Winkel, der dem Winkel x' entsprechend ist, der Ort des vereinigten Nachbildes fn fällt aber dann nicht mit dieser verticalen Durchschnittslinie zusammen, sondern er weicht von dieser in der genannten Ebene um einen Winkel ab, der gleich dem Neigungsunterschied der Nachbilder fr und fl ist.

Die Winkel x und x' lassen sich gemäss dieser Construction leicht durch die Rechnung bestimmen. — Es seien im ersten Fall m und $m+n$ die horizontalen Distanzen der Bilder des linken und des rechten Auges von dem gemeinsamen Bild, das fixirt wird, in dem binokularen Sehfeld, s sei die geradlinige Entfernung der Augen vom Sehfeld, g sei die Hälfte der Halbirungslinie der Augenmittelpunkte, so ist der Winkel x, um welchen das binokulare Sehfeld um eine verticale durch den Fixationspunkt gehende Axe zur Verschmelzung der Doppelbilder gedreht werden muss, zu finden aus der Gleichung

$$\text{cot. } x = \frac{g}{n\,s}\ (2\ m+n).$$

In dieser Gleichung ist g eine Constante, die individuell etwas variirt, aber im Mittel zu 30 Mm. angenommen werden kann. s, m und n können natürlich beliebig variiren, und verändert sich darnach der Werth von x. Wenn m und n constant bleiben, so wächst x mit zunehmender Entfernung des Sehfeldes und erreicht schliesslich den Grenzwerth von 90^0. Dies bedeutet, dass, Alles übrige gleichgesetzt, die stereoskopische Vorstellung zunimmt mit der Entfernung des fixirten Punktes. Da aber bei stereoskopischen Versuchen mit der Zumuthung, die der Vorstellungsthätigkeit gemacht wird, die Schwierigkeit der Vereinigung wächst, so wird ausserdem zu erwarten sein, dass auch diese Schwierigkeit mit der Entfernung zunimmt.

Man kann sich von dieser Folgerung leicht durch objective stereoskopische Versuche überzeugen. Auf diese ist die obige Formel ebenso unmittelbar anwendbar, wie auf die subjectiven Versuche; nur hat man hier natürlich unter s nicht die wirkliche Entfernung der stereoskopischen Objecte in Rechnung zu ziehen, sondern man hat sich das binokulare Sehfeld in

den Kreuzungspunkt der Sehaxen verlegt, und in demselben die stereoskopischen Objecte so über einander geschoben zu denken, wie es ihrer perspectivischen Projection auf dieses Sehfeld entspricht. Hierin liegt nun eine eigenthümliche Verschiedenheit begründet, je nachdem man die Sehaxen vor oder hinter den stereoskopischen Objecten kreuzt, um diese zur Vereinigung zu bringen. Kreuzt man vor den Objecten, so wird die stereoskopische Vorstellung immer bedeutender, je ferner man die Objecte bringt; kreuzt man aber hinter den Objecten, so wird die stereoskopische Vorstellung um so erheblicher, je näher man mit den Objecten an die Augen heranrückt. Beides hat darin seinen Grund, dass im ersten Fall s, die Entfernung des Kreuzungspunktes der Sehaxen, zunimmt, und dass es im zweiten Fall abnimmt mit der Entfernung der Objecte. — Man wählt, um den Versuch auszuführen, am besten möglichst einfache Objecte, z. B. einerseits eine verticale Linie, anderseits eine etwas geneigte Linie. Ist diese Linie mit ihrem oberen Ende nach innen geneigt, so sieht man bei der Vereinigung durch Kreuzung der Sehaxen jenseits des Objectes das gemeinschaftliche Bild sich mit seinem oberen Ende in die Tiefe erstrecken. Diese stereoskopische Vorstellung ist sehr bedeutend, wenn man das Object ganz nahe vor's Auge hält, nimmt aber bei der Entfernung desselben ab und verschwindet endlich fast ganz. Kreuzt man die Sehaxen diesseits des Objectes, so sieht man das gemeinschaftliche Bild sich mit seinem oberen Ende gegen den Beobachter zu erstrecken; diese stereoskopische Vorstellung ist aber sehr gering, wenn man das Object nahe vor's Auge hält, während sie mit der Entfernung desselben mehr und mehr wächst. Den letztern Versuch muss man übrigens bei einer Neigung der Visirebene anstellen, bei der keine wirkliche Drehung der Augen um die Sehaxe auch bei stärkeren Convergenzgraden vorhanden ist, damit diese sich nicht mit der Neigung des Objectes summirt, also etwa bei einer Stellung der Visirebene von 30—40° unter den Horizont. — In der erörterten Thatsache liegt es ohne Zweifel begründet, dass im Allgemeinen Diejenigen, die gewohnt sind stereoskopische Objecte durch Kreuzung der Sehaxen vor denselben zur Vereinigung zu bringen, angeben, dass bei ihnen die stereoskopische Vorstellung von geringer Grösse sei. In der gewöhnlich angewandten Sehweite für die stereoskopischen Versuche ist nämlich s sehr viel geringer für die Vereinigung diesseits als jenseits der Objecte. Diese Beobachter können ihre stereoskopische Vorstellung daher erhöhen, wenn sie mit den Objecten

hinreichend ferne rücken; niemals aber kann die stereoskopische Vorstellung diejenige Grösse erreichen, die bei der jenseitigen Vereinigung möglich ist. Rückt man immer ferner mit den Objecten, so nähert man sich einer Grenze, wo für diesseitige und jenseitige Vereinigung die stereoskopische Vorstellung gleich ist, ohne diese Grenze jemals ganz erreichen zu können. Rückt man umgekehrt näher, so wird, indem die stereoskopische Vorstellung für die jenseitige Vereinigung fortwährend zunimmt, für die diesseitige Vereinigung aber abnimmt, der Unterschied immer grösser, und erreicht bei der möglichsten Annäherung an's Auge sein Maximum.

Wir sehen ferner aus der obigen Formel, dass der Winkel x um so mehr zunimmt, je mehr n, d. h. der Distanzunterschied der stereoskopischen Bilder, wächst, so dass er, wenn n eine gewisse Grösse erreicht, sich wieder seinem Maximum von 90^0 nähert, während er umgekehrt abnimmt, je kleiner n wird, und wenn dieses zu Null geworden ist ebenfalls Null wird.

Im zweiten Fall, wenn es sich um Bestimmung des Winkels x' handelt, der die Neigung des Sehfeldes für die Vereinigung stereoskopischer Bilder, die einen verschiedenen Winkel mit dem Horizont einschliessen, angiebt, sei wieder s die geradlinige Entfernung des Beobachters vom fixirten Punkt und g die Hälfte der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte, m sei der Winkel des einen Bildes mit der Horizontalen, n der Winkel des anderen Bildes. Man findet x' aus der Gleichung

$$\text{tgt. } x' = \frac{s\ (\text{tgt. } m + \text{tgt. } n)}{2\ g.\ \text{tgt. } m.\ \text{tgt. } n - (\text{tgt. } m + \text{tgt. } n)}.$$

Diese Gleichung vereinfacht sich bedeutend, wenn $m = n$ wird, d. h. wenn die Neigung der beiden Bilder von gleicher Grösse ist; dann ist

$$\text{tgt. } x' = \frac{s}{g.\ \text{tgt. } m.}$$

Man sieht, dass wieder x' zunimmt mit der Entfernung s. Wir haben dies schon bei dem oben angeführten Versuch vorausgesetzt, der eigentlich unter diesen zweiten Fall gehört. Dagegen nimmt x' ab mit der Grösse der Winkel m oder n, und es wird gleich Null, wenn diese Winkel 90^0 betragen, d. h. wenn die stereoskopischen Objecte parallel und vertical stehen, aber je mehr sie vom Verticalismus abweichen, um so grösser wird x'. Dabei bleibt das gemeinsame Bild in der Medianebene, wenn m und n gleich sind, und es weicht um

den Winkel $m—n$ zur Seite ab, wenn n kleiner als m ist. — Als specieller Fall ist hier noch der zu erwähnen, wo einer der Winkel, z. B. n, $= 90^0$ wird, man erhält hier

$$\text{tgt.} x' = \frac{s}{2\,g.\ \text{tgt.}\ m - 1}$$

In den gegebenen Formeln sind alle Elemente enthalten, die beim stereoskopischen Sehen in Betracht kommen können. Ich habe früher bemerkt, dass alle Fälle von Incongruenz beider Netzhautbilder auf zwei Arten sich reduciren lassen. Denken wir uns beide Netzhäute, ohne ihre sonstige Lage zu verändern, über einander gelegt, so decken die Netzhautbilder sich entweder desshalb nicht, weil sie linear über einander geschoben sind, oder weil sie eine Winkelverschiebung zu einander erfahren haben. Beide Arten von Incongruenz liegen auch den stereoskopischen Erscheinungen zu Grunde. Bei allen Bildern von körperlich ausgedehnten Gegenständen ist entweder eine lineare Querverschiebung der den gleichen Objectpunkten entsprechenden Bildpunkte oder eine Winkelverschiebung derselben vorhanden, und nur der Theil des beobachteten Gegenstandes, der fixirt wird, deckt sich in seinen Netzhautbildern. Bei den stereoskopischen Versuchen ist das Nämliche künstlich dadurch erreicht, dass die Ansichten, die jedes Auge von einem Gegenstand erhält, auf eine Fläche projicirt sind. In vielen Fällen, insbesondere bei körperlichen Gegenständen und stereoskopischen Objecten von verwickelterer Form, sind beide Arten von Verschiebung der Netzhautbilder vorhanden. Die Analyse dieser Fälle hat aber keine Schwierigkeiten, wenn man sich die Aufgabe zerlegt und zuerst die Grösse der Tiefenausdehnung bestimmt, die aus der linearen Querverschiebung der Netzhautbilder hervorgeht, und die durch Drehung des binokularen Sehfeldes um seine verticale Axe erzeugt gedacht werden kann, der Winkel x dieser Drehung giebt unmittelbar diese Tiefenausdehnung ihrer Grösse nach. Ist dies geschehen, so bleibt noch diejenige Tiefenausdehnung zu bestimmen, die aus der Winkelverschiebung der Netzhautbilder hervorgeht, und die durch Drehung des binokularen Sehfeldes um seine horizontale Axe erzeugt gedacht werden kann, diese Drehung wird unmittelbar durch den Winkel x' gemessen. Durch die Winkel x und x' ist die Lage, die der binokular gesehene Gegenstand entweder in Wirklichkeit oder blos in unserer Vorstellung (bei den stereoskopischen Versuchen) im Raum einnimmt, völlig bestimmt. Nehmen wir z. B. an, die Netzhautbilder beider Augen seien von der Form Fig. 17., a, a'

entspreche dem fixirten Punkt, so decken sich die Bilder l und r mit den Punkten a und a', in Bezug auf alle übrigen Punkte aber zeigen sie sowohl quere Verschiebung als Winkelverschiebung. Der queren Verschiebung entspricht der Winkel x, der Winkelverschiebung d. Winkel x', beide Winkel können, wenn die Distanz des fixirten Punktes, der quere Abstand und die Neigung der Netzhautbilder gegeben sind, mittelst der obigen Formeln berechnet werden, es können in denselben für die Distanzen oder Neigungen m und n unmittelbar die Distanzen oder Neigungen der Netzhautbilder gesetzt werden. Auf diese Weise lassen sich alle stereoskopischen Objecte, sobald dieselben aus geraden Linien zusammengesetzt sind, mathematisch untersuchen, es lässt sich bei gegebenem Netzhautbild genau bestimmen, ob demselben eine körperliche Vorstellung überhaupt entsprechen kann und, wenn dies der Fall ist, von welcher Beschaffenheit dieselbe sein muss.

Fig. 17.

Etwas verwickelter wird die Aufgabe, wenn es sich darum handelt, diese Untersuchung für Netzhautbilder auszuführen, die aus gekrümmten Linien zusammengesetzt sind. Hierbei ist jedoch zu bemerken, dass dieser Fall verhältnissmässig selten vorkommt: bei weitem die meisten stereoskopischen Contouren sind aus geraden Linien zusammengesetzt oder nähern sich doch solchen sehr annähernd. Gekrümmte Linien von entgegengesetzter Krümmung können wir überhaupt nur vereinigen, wenn die Krümmung sehr unbedeutend ist. So ist z. B. in Fig. 18. eine Vereinigung mit stereoskopischer Vorstellung noch möglich, dies hört aber auf, sobald man den beiden Kreisbögen eine einigermassen stärkere Krümmung giebt. Aus diesem Grunde lassen sich in diesen Fällen häufig ohne erheblichen Fehler die stereoskopischen Contouren als zusammengesetzt aus wenigen geraden Linien betrachten. Wo aber auch dies nicht geht, kann min-

Fig. 18.

destens die Krümmung der stereoskopischen Contouren immer als kreisförmig betrachtet werden, und für diesen Fall hat die Bestimmung der Fläche, in welcher das stereoskopische Bild oder der körperlich ausgedehnte Gegenstand liegt, keine Schwierigkeit, sie ist nämlich dann eine Cylinderfläche, deren Radius leicht zu ermitteln ist. Entspricht z. B. in Fig. 18. a und a' dem fixirten Punkt, so betrachte man zuerst $a\ b$ und $a'\ b'$, ebenso $a\ c$ und $a'\ c'$ als gerade Linien von entgegengesetzter Richtung, welche die Winkel m und n mit der Horizontalen einschliessen, und ermittele den Winkel x' so, wie es für das gemeinsame Bild dieser Linien geschehen müsste. Es giebt dann der Winkel x' die Neigung einer Ebene, welche die Cylinderfläche, in der das gemeinsame Bild wirklich liegt, schneidet. Die Radien zweier Kreisbögen verhalten sich nun wie die Tangenten der Neigungswinkel je zweier entsprechender Kreissecanten. Ist daher r der Radius irgend eines der beiden zu vereinigenden Kreisbögen und r' der Radius der gesuchten Cylinderfläche, so ist, wenn $m = n$ angenommen wird,

$$\frac{r}{r'} = \frac{\text{tgt. } m}{\text{cot. } x'}.$$

Da x' schnell wächst mit kleiner werdenden m und n, so folgt hieraus, dass x' immer bedeutend kleiner ist als r, d. h. dass die Krümmung des vereinigten Bogens viel erheblicher ist als die Krümmung der zusammensetzenden Bögen. Man überzeugt sich hiervon leicht in stereoskopischen Versuchen, wo dieser Unterschied in hohem Grade auffällt. Ist $m = n$, so giebt x' unmittelbar die Krümmung des vereinigten Bogens, ist aber m verschieden von n, so ist dies streng genommen nicht mehr der Fall. Da aber, wie bemerkt, m und n bei der Vereinigung von Kreisbögen nur sehr wenig von 90° abweichen dürfen, so dass $m—n$ immer sehr klein bleibt, so kann dieser Fehler meistens vernachlässigt werden.

Aus der durch die subjectiven stereoskopischen Versuche nachgewiesenen Thatsache, dass, sobald die Netzhautbilder auf diejenige Tiefenausdehnung des Objectes bezogen werden, die dem Lageverhältniss der Netzhautbilder entspricht, das Einfachsehen mit Nothwendigkeit eintritt, erklären sich mehrere Erscheinungen, die bisher keine oder nur eine ungenügende Erklärung gefunden haben.

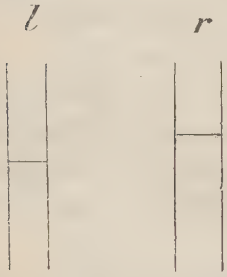
Zunächst ist klar, dass, wenn wir in stereoskopischen Versuchen beiden Augen Bilder darbieten, die den verschiedenen Projectionen eines reellen Objectes nicht ganz entsprechen, die stereoskopische Vorstellung nicht so leicht ent-

stehen und daher auch eine Vereinigung weniger leicht eintreten wird. Man könnte in diesen Fällen sogar erwarten, dass die stereoskopische Vereinigung ganz unmöglich sei, aber erfahrungsgemäss abstrahiren wir gern von Ungenauigkeiten der stereoskopischen Bilder, wenn sie nicht zu bedeutend sind, abgesehen davon, dass wir — obzwar in geringerer Ausdehnung — auch Bilder disparater Netzhautstellen zu vereinigen vermögen, die gar keine stereoskopische Vorstellung zulassen, wovon wir im folgenden Abschnitt noch zu handeln haben. Ferner kommen in den stereoskopischen Versuchen Fälle vor, wo wir einen Theil des einen Netzhautbildes mit einem Theil des andern Netzhautbildes zu einem stereoskopischen Gesammtbild zu vereinigen vermögen, wo aber dies in Bezug auf andere Theile beider Netzhautbilder unmöglich ist. In diesen Fällen stören nicht selten die nicht zu vereinigenden Bilder die stereoskopische Täuschung, und es werden nun auch jene Theile der Objecte ohne Tiefenausdehnung und daher doppelt gesehen, die für sich der stereoskopischen Vereinigung fähig sind.

Volkmann hat in seiner Abhandlung mehrere in beide Kategorieen einschlagende Beispiele angegeben, von denen ich einige der augenfälligsten hier heraushebe.

1) Man bringe in jedes Gesichtsfeld zwei senkrechte Parallellinien von etwas ungleicher Distanz, Fig. 19.; die stereoskopische Vereinigung gelingt vollständig, und im gemeinsamen Bild ist die rechts gelegene Linie jenseits der Ebene des Papieres gelegen. Man ziehe nun in jedem Bild eine horizontale Verbindungslinie, so aber, dass dieselbe in r etwas höher liegt als in l: jetzt wird die Vereinigung weit schwieriger, obgleich sie auch hier bisweilen gelingt, wenn der Distanzunterschied der Bilder nicht zu gross ist.

Fig. 19.



2) Man bringe in jedes Gesichtsfeld zwei Punkte, die in derselben Horizontallinie gelegen sind und eine etwas ungleiche Distanz haben; die stereoskopische Vereinigung ist leicht, der eine der vereinigten Punkte liegt über oder hinter der Ebene des Papiers. Man füge nun in jedem Gesichtsfeld noch eine ganze Reihe ähnlicher Punkte hinzu, die aber eine gleiche Distanz halten. Die Vereinigung der vorher stereoskopisch gesehenen Punkte ist jetzt viel schwieriger, obgleich sie auch hier wieder, und im Allgemeinen noch leichter als im vorigen Versuch, bisweilen gelingt.

3) Man zeichne jederseits zwei Reihen von Punkten, die auf concentrischen Kreisperipherieen von je gleichem Radius gelegen sind, die aber auf der einen Seite etwas weiter aus einander liegen als auf der anderen. In diesem Fall sind also die zu vereinigenden Punkte sowohl quer als winklig gegen einander verschoben, und die entstehende Tiefenvorstellung ist ein Resultat aus beiden Verschiebungen. Auch hier tritt die stereoskopische Vereinigung ein; zieht man aber nun die Kreislinien, auf welchen die Punkte gelegen sind, aus, so hört die Vereinigung auf oder ist doch in vielem Grad schwieriger.*)

Volkmann hat diese Fälle gemäss seiner Hypothese so erklärt, dass er sagt: „Netzhautpunkte, welche wegen der geringen Differenz ihrer Lagerung sich in der Regel wie identische Punkte verhalten, d. h. im Zustande der Erregung räumlich einfache Erscheinungen bedingen, vermitteln ausnahmsweise Doppelbilder, wenn die Aufmerksamkeit der Seele auf den sinnlichen Vorgang in ungewöhnlicher Weise gesteigert wird.“ Die oben erwähnten Versuche sind nun immer so eingerichtet, dass bei ihnen auch identische Netzhautpunkte erregt werden: dadurch wird, nach Volkmann, die Aufmerksamkeit der Seele auf die Doppelbilder gerichtet, und diese müssen, wenn sie verschmolzen waren, aus einander treten.

Diese Erklärung ist offenbar nach den subjectiven stereoskopischen Versuchen, die eine zwingende Verschmelzung der Doppelbilder darthun, sobald nur die Tiefenvorstellung eintritt, nicht mehr haltbar. Aber die Versuchsbedingungen sind in diesen Fällen immer solche, dass die jedem Auge dargebotenen Bilder keinem wirklichen Gegenstand mehr entsprechen können, oder dass dies nur in Bezug auf einzelne Theile beider Bilder der Fall ist. Wir können im dritten Versuch die zwei Bilder gleicher concentrischer Kreise nicht zu einer stereoskopischen Vorstellung vereinigen, und vermögen dies daher auch nicht mit irgend welchen Punkten, die auf diesen Kreisen gelegen sind; im ersten Versuch geben die Verticallinien mit einander eine stereoskopische Vorstellung, nicht aber die über einander gelegenen Horizontalen; endlich im zweiten Versuch

*) Weitere Beispiele ähnlicher Art s. bei Volkmann S. 20 u. f. Volkmann bezeichnet durchweg bei diesen Versuchen die Vereinigung als niemals eintretend. Ich selbst kann dies bei seinen Zeichnungen meistens nicht finden, sondern gewöhnlich wird die stereoskopische Vereinigung nur schwieriger, tritt aber immer noch zuweilen ein. Auch Andere, die ich hierüber befragt, haben das Gleiche beobachtet.

können die Punkte, die jederseits von gleicher Distanz sind, nur auf die Fläche des Papiers bezogen werden, wir thun das daher, da wir geneigt sind die Figur als ein Ganzes aufzufassen, auch in Bezug auf die zwei Punkte, die jederseits von ungleicher Distanz sind, und in Folge dessen fallen diese Punkte aus einander. Aber gerade im letzten Fall, wo es sich nur um Punkte nicht um Linien handelt, ist es am leichtesten möglich den Theil des Bildes, der eine stereoskopische Vereinigung zulässt, gewissermassen vom andern Bild zu isoliren, ich sehe daher diese Figur fast häufiger so, dass ich den einen Punkt, der in beiden Netzhäuten auf nicht correspondirende Stellen fällt, in die Tiefe projicire, während die andern in der Ebene des Papiers zu liegen scheinen, als dass ich alle Punkte in diese Ebene verlege und dann von dem betreffenden Punkt die Doppelbilder sehe. Wir können somit die Erklärung aller dieser und ähnlicher Erscheinungen dahin zusammenfassen, dass überall, wo durch die Versuchsbedingungen die stereoskopische Vorstellung gehindert ist, auch die stereoskopische Vereinigung schwerer erfolgt, und diese Consequenz versteht sich ganz von selber, nachdem wir nachgewiesen haben, dass die stereoskopische Vereinigung lediglich bestimmt ist durch die Gesetze der perspectivischen Projection der Gesichtseindrücke in den äusseren Raum.

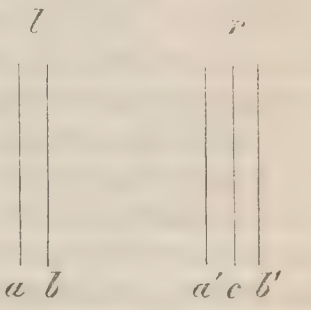
Die gefundene Gesetzmässigkeit für die stereoskopischen Erscheinungen fordert die Folgerung einer Thatsache, die von den meisten Beobachtern bisher geleugnet worden ist. Geschieht nämlich die Vereinigung stereoskopischer Contouren nicht durch eine Vernachlässigung der reell bestehenden Doppelbilder, sondern gemäss den Gesetzen der perspectivischen Projection mit zwingender Nothwendigkeit, so ist weiter zu schliessen, dass, ebensowohl wie die Bilder nicht correspondirender Netzhautstellen zu einer einheitlichen Wahrnehmung ganz bestimmter Art vereinigt werden, auch die Bilder correspondirender Netzhautstellen unter Umständen zu Doppelbildern aus einander treten werden. Es ist mit aller Sicherheit anzugeben, wann dieses Ereigniss eintreten wird: es wird immer erfolgen, sobald die Netzhautbilder so auf äussere Objecte bezogen werden, dass im Allgemeinen nicht mehr correspondirende Netzhautstellen einem und demselben Punkte des äusseren Objects entsprechend sind.

Man kann demgemäss in den objectiven stereoskopischen Versuchen leicht die hierzu günstigen Bedingungen herstellen, wenn man zwei richtige stereoskopische Zeichnungen entwirft, und dann in der einen Zeichnung noch eine überzählige Con-

tour anbringt, welche mit einer stereoskopischen Contour der anderen Zeichnung auf correspondirende Netzhautstellen fallen muss. Eine solche überzählige Contour stört allerdings oft die stereoskopische Vorstellung (es tritt dieser Fall unter die oben in dieser Hinsicht erörterten Erscheinungen), aber, wenn man die Zeichnungen geeignet ausführt, so lässt es sich leicht erreichen, dass immer noch eine vorwiegende Tendenz zur stereoskopischen Vorstellung vorhanden bleibt. Tritt nun die letztere wirklich ein, so wird unter allen Umständen die auf correspondirende Netzhautstellen fallende Contour doppelt gesehen. — Ich will die zwei Grundversuche anführen, die den Hauptfällen, welche beim stereoskopischen Sehen in Betracht kommen, entsprechen.

1) Man bringe in jedes Gesichtsfeld zwei verticale Parallellinien von etwas ungleicher Distanz, a, b und a' b', Fig. 20. Zwischen die Linien a' b' in r, welche die weitere Entfernung haben, ziehe man dann eine dritte Linie c, die von a' ebenso weit entfernt ist als b von a. Diese Linie c ziehe man aber schwächer als die andern, dadurch erhöht man die Neigung zur stereoskopischen Vereinigung der stärker gezogenen Linien. Fixirt man nun einen a, a' entsprechenden Punkt, so scheint die vereinigte Linie b, b' hinter der Ebene des Papieres zu liegen, c aber erscheint getrennt von b, b' und behält denselben Ort, den es im getrennten Bild zu a, a' einnimmt. Da nun offenbar bei der Vereinigung beider Zeichnungen c mit b auf correspondirende Netzhautmeridiane fällt, so haben wir hier einen Fall, wo mit correspondirenden Netzhautstellen doppelt gesehen wird. Sobald übrigens die stereoskopische Täuschung aufhört, und alle Linien in die Ebene der Zeichnung treten, so fällt auch b mit c zusammen, und b' wird getrennt gesehen.

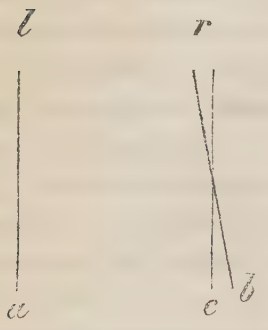
Fig. 20.



2) Man biete dem linken Auge eine verticale Linie a, Fig. 21. dem rechten eine etwas geneigte b, beide stark ausgezogen; zugleich sei aber im rechten Gesichtsfeld eine schwache Linie c. Man ist dann wieder geneigt, die stärker gezogenen Linien stereoskopisch zu vereinigen. Das vereinigte Bild erstreckt sich mit seinem obern Ende (bei Fixation eines jenseits gelegenen Punktes) über die Ebene des Papiers hinaus und weicht zugleich etwas nach links ab; die Linie c aber erscheint davon getrennt in der Ebene des Papiers und ver-

tical. Nun ist aber klar, dass, wenn nicht eine compensirende Augendrehung stattgefunden hat — und dass es solche nicht giebt haben wir im 2. Abschnitt bewiesen — das Bild der Linie *c* mit dem Bild der Linie *a* des rechten Auges auf correspondirende Netzhautstellen, die Bilder der beiden starken Linien *a* und *b* aber auf disparate Netzhautstellen fallen. Wenn nun die beiden letzteren vereinigt werden, so können nicht die zwei ersteren vereinigt werden; es leidet also keinen Zweifel, dass in diesem Fall mit correspondirenden Netzhautstellen doppelt gesehen wird. Würde bei diesem Versuch das stereoskopische Bild etwa so erscheinen, dass es sich in gerader Richtung nach der Tiefe hin erstreckte (wie dies der Fall wäre, wenn man *a* und *b* von gleicher Neigung gemacht hätte), so könnte von einer Deckung mit der Linie *c* noch die Rede sein, da aber der Versuch so eingerichtet ist, dass es zugleich nach links abweicht, so erscheinen das Sammelbild und das einfache vollkommen deutlich getrennt.*)

Fig. 21.



Einen weiteren Versuch, welcher das Doppelsehen mit correspondirenden Netzhautstellen zeigt, habe ich schon oben ausführlich erörtert: es ist der Baum'sche Versuch über den horizontalen Horopter, in welchem, wie wir gesehen haben, die Bedingungen des Doppelsehens etwas verschieden sind. Die hier angeführten zwei Versuche sind aber die vollkommen beweisenden Grundversuche: sie enthalten die zwei Hauptfälle, die beim stereoskopischen Sehen in Betracht kommen, die Querverschiebung und die Winkelverschiebung der Netzhautbilder, und sie zeigen, dass, wo stereoskopisches Sehen durch eine von beiden Incongruenzen der Netzhautbilder zu Stande kommt, solche Bildpunkte, die sich binokular decken, und die beim Wegfallen des stereoskopischen Sehens einfach erscheinen, doppelt gesehen werden.

Die entsprechenden Versuche lassen auch im Gebiet der subjectiven Stereoskopie sich ausführen, wo sie zu höchst frappanten Erscheinungen Veranlassung geben.

Man befestige einen verticalen farbigen Streifen auf complementärem Grunde und betrachte denselben mit beiden Augen aus einer Entfernung, welche hinreichend gross ist, dass die

*) Der zuletzt angeführte Versuch ist derselbe, den ich oben als von Wheatstone zuerst angestellt bereits erwähnt habe.

Drehung um die Sehaxe nicht in Betracht kommt. Schiebt man dann ein graues Papier so vor, dass es die Ebene, in welcher der Streifen gelegen ist, parallel deckt, so sieht man, wie zu erwarten steht, auf dem grauen Papier das einfache complementäre Nachbild des Farbenstreifens. Schiebt man aber das graue Papier so vor, dass es zu jener Ebene geneigt ist, so sieht man häufig statt des einfachen Nachbildes zwei, die sich im fixirten Punkt kreuzen. Schliesst man das eine oder andere Auge, so erkennt man deutlich die Drehung, die das Nachbild des einzelnen Auges durch die Projection auf die geneigte Ebene erfahren hat. Es gelingt jedoch bei diesem Versuch das Doppelsehen des gemeinsamen Nachbildes mit beiden Augen keineswegs immer, es tritt bei mir am ehesten ein, wenn ich rasch das Papier vorschiebe und scharf fixire: dann sehe ich in den ersten Momenten deutlich das Nachbild als gekreuztes Doppelbild. Es ist aber immer eine Neigung vorhanden dasselbe zu einem Bild zu vereinigen, und ist diese Vereinigung einmal geschehen, so gelingt es niemals durch längeres Fixiren dasselbe wieder zu trennen. Aber wenn das Nachbild nicht getrennt gesehen wird, so erscheint dasselbe deutlich stereoskopisch, d. h. es scheint nicht in der Ebene des Papiers zu liegen, sondern es nimmt dieselbe Lage ein, die das betrachtete Object hatte, das Nachbild scheint körperlich in der Luft zu stehen. Einigemal sah ich das Nachbild sogar so, dass es mit seinem obern Ende frei in der Luft stand und einfach gesehen wurde, mit seinem untern Ende auf dem Papier zu liegen schien und dann in Doppelbilder aus einander trat. Es scheint mir dieser Versuch ebenso beweisend zu sein, wenn die Trennung des Nachbildes in Doppelbilder gelingt, als wenn sie nicht gelingt. Denn es zeigt dies, dass, sobald das Nachbild auf eine Ebene projicirt wird, die zur anfänglichen Ebene geneigt ist, das einfache Bild in ein Doppelbild aus einander tritt, während es einfach bleibt, so lange es projicirt wird auf eine Ebene, die zur anfänglichen Ebene parallel ist. Immerhin ist jedoch auffallend, dass hier keineswegs wie beim umgekehrten Versuch, bei der Projection von Doppelbildern auf eine Ebene zum Zweck der Vereinigung der Doppelbilder, der Erfolg mit zwingender Nothwendigkeit auftritt, sondern im Gegentheil sich nur als Ausnahmefall zeigt. Wir widerstreben hier offenbar der Trennung des Nachbildes, weil wir die Einfachheit des Objectes, durch dessen Betrachtung das Nachbild erhalten wurde, kennen und daher lieber stereoskopisch sehen, d. h. auf die Projection auf die gewählte Ebene verzichten.

In den obigen Untersuchungen sind, wie ich glaube, die wesentlichen Bedingungen des stereoskopischen Sehens festgestellt, und es ist dadurch möglich geworden, die stereoskopischen Erscheinungen auf bestimmte einfache Gesetze zurückzuführen. Eine Erklärung der eigenthümlichen binokularen Tiefenwahrnehmung ist aber in diesen Untersuchungen noch nicht enthalten. Dagegen wird es wohl möglich sein, nach dieser vollständigeren Zergliederung der stereoskopischen Erscheinungen zu urtheilen, ob die gangbare psychologische Hypothese dem ganzen Umfang dieser Erscheinungen zu genügen vermag.

Nun geben aber unsere Untersuchungen das Resultat, dass ebensowohl mit disparaten Netzhautstellen einfach gesehen werden kann wie mit correspondirenden Netzhautstellen doppelt, dass Einfach- und Doppelsehen der Objecte nicht abhängt von dem Ort der Netzhäute, auf dem das Bild der Objecte entworfen wird, sondern von dem Ort des äusseren Raums, auf den das Bild der Objecte bezogen wird. Dies aber widerstreitet unmittelbar der bisherigen psychologischen Hypothese, die, an der Identitätslehre festhaltend, Einfachsehen und Sehen mit correspondirenden Netzhautstellen gleich setzte, und die daher das stereoskopische Sehen auffasste als ein Sehen von Doppelbildern, bei dem aber die Seele, durch die Erfahrung veranlasst, die Doppelbilder auf ihren Grund zurückführen lernte. Unsere Versuche beweisen, dass man ebenso gut das Einfachsehen des fixirten Punktes oder überhaupt der sich binokular deckenden Bildpunkte eines Objectes ein ursprüngliches Doppelsehen nennen könnte, das erst durch die Erfahrung zum Verschwinden gebracht werde. Die Beobachtung zeigt, dass im einen Fall wie im andern die Verschmelzung mit der gleichen zwingenden Nothwendigkeit vor sich geht, wenn das Netzhautbild in der entsprechenden Weise auf die räumliche Ausdehnung des Objectes bezogen wird, und dass im einen Fall wie im andern Doppelbilder erscheinen, sobald diese Beziehung gestört wird.

Es ist damit keineswegs gesagt, dass nicht ein psychischer Akt der Verschmelzung der Doppelbilder zum Grunde liege. Im Gegentheil: allein ein psychischer Akt kann es sein, der jene die Verschmelzung bedingende Beziehung auf die räumliche Lage des gesehenen Gegenstandes ausführt. Aber es ist damit gesagt, dass, wenn ein psychischer Akt das Einfachsehen des stereoskopischen Bildes bedingt, dieser selbe psychische Akt ohne Zweifel auch das Einfachsehen des flächenhaften Bildes veranlasst. So führt uns das Studium der stereoskopischen

Erscheinungen auf indirectem Wege zu dem Schlusse zurück, dass auch der Entstehung des Sehfeldes bestimmte psychische Prozesse zu Grunde liegen müssen, und dieser Schluss erweitert sich dahin, dass die physischen Momente, durch welche die Seele zu jenen Processen veranlasst wird, wesentlich gleichartig sind bei der Entstehung des Sehfeldes wie bei der Ausbildung der binokularen Tiefenwahrnehmung, denn wir sehen bei der Untersuchung der ausgebildeten Wahrnehmungen, dass beide Wahrnehmungsakte ohne Grenze in einander übergehen.

Die bisherige Hypothese nimmt an, dass das Sehfeld unmittelbar mit der flächenhaften Ausbreitung der Gesichtsempfindungen auf der Netzhaut gegeben sei, während sie die aus Doppelbildern hervorgehende binokulare Tiefenwahrnehmung als etwas streng davon Geschiedenes auffasst, bei dessen Zustandekommen sie der Mitwirkung psychischer Vorgänge nicht entbehren kann. Unsere Untersuchungen zeigen, dass eine solche Scheidung nicht durch die Beobachtung gerechtfertigt werden kann. In unseren ausgebildeten Gesichtswahrnehmungen ist nichts vorhanden, was dieselbe zu stützen vermöchte, im Gegentheil zeigen uns diese, dass, wenn auch flächenhafte Wahrnehmungen den Tiefenwahrnehmungen vorausgehen mögen, doch diese nicht erst als etwas Besonderes sich auf ganz neuem Wege aus jenen hervorbilden, sondern sie werden offenbar nur als ein gleichartiges Glied sich anschliessen an die Reihe jener Processe, durch welche die Seele sich die Raumanschauung aufbaut.

In der vorigen Abhandlung habe ich die physischen Momente, aus denen die Entstehung des Sehfeldes hervorgeht, erörtert. Ich habe zwei Momente namhaft gemacht, durch deren Zusammenwirken die Bildung der Flächenwahrnehmung gedacht werden kann: erstens die eigenthümliche vom Ort des Eindrucks abhängige Färbung der Empfindung, und zweitens die mit den Bewegungen des Auges verknüpften Muskelempfindungen. Es wurde erwähnt, dass eine locale Färbung der Empfindung im Auge in Bezug auf grössere Netzhautdistanzen durch Versuche nachgewiesen ist, und dass also hier die Hypothese nur verlangt, das in grösseren Distanzen deutlich Erkennbare auch in kleinen Distanzen als wirksam zuzulassen, ein Verlangen, für dessen Statthaftigkeit mehrere Gründe angeführt worden sind. Für den Einfluss der Bewegungsempfindungen des Auges wurden theils pathologische Erfahrungen geltend gemacht, theils wurde hingewiesen auf gewisse Eigenthümlichkeiten unserer ausgebildeten räumlichen Wahrnehmung, die, unter Zulassung des angenommenen Ein-

flusses, unmittelbar ableitbar sind aus dem, was die Rechnung in Bezug auf die Zugkräfte der Augenmuskeln bei einzelnen Bewegungen ergiebt, während sie ohne jene Annahme nicht erklärt werden können.*) Wollte man auch alle diese Thatsachen nicht für genügend erachten, um die aufgestellte Hypothese zur berechtigten Theorie zu erheben, so wird man doch finden, dass — sobald man einmal annimmt, dass die flächenhafte Anschauung uns nicht a priori gegeben ist, sondern von der Seele aus den Empfindungen erst gebildet wird — man nicht im Stande ist eine andere Hypothese aufzufinden, welche die Bildung des Sehfeldes zu erklären vermöchte. Denn sowohl die Netzhautempfindungen für sich wie die Bewegungsempfindungen für sich sind zur Erklärung nicht ausreichend, die Netzhautempfindungen und die Bewegungsempfindungen zusammen sind aber die einzigen physischen Momente, die überhaupt in diesem Falle sich annehmen lassen, und es zeigt sich, dass durch die gemeinsame Hülfe beider für die Seele die Möglichkeit der Construction des Sehfeldes vorhanden ist, sobald die Seele als ausgerüstet gedacht wird mit jenen Fähigkeiten, die sie erfahrungsgemäss besitzt.

Wir haben geglaubt mit Wahrscheinlichkeit schliessen zu dürfen, dass die gleichen Momente, welche der Bildung des Sehfeldes zum Grunde liegen, auch die binokulare Tiefenwahrnehmung möglich machen, weil die Beobachtung zeigt, dass es ungerechtfertigt ist, eine scharfe Grenze zwischen beiden Wahrnehmungsakten zu ziehen. In der That führt uns das Studium der stereoskopischen Erscheinungen zu denselben physischen Momenten zurück, und dies ist der Punkt, wo der Brücke'schen Hypothese eine gewisse Berechtigung zukommt. Aber diese Hypothese hat den ähnlichen Fehler gemacht, der den Erklärungsversuchen der Flächenwahrnehmung

*) Es ist mir seither von einigen in optischen Versuchen sehr geübten Beobachtern entgegnet worden, dass ihnen der scheinbare Unterschied gleicher verticaler und horizontaler Entfernungen, der hier gemeint ist, nicht so auffallend vorkomme, manchmal wohl auch ganz verschwinde. Ich glaube, dass allein Messungen, wie ich sie in der vorigen Abhandlung beschrieben habe, hier beweisend sind. Ausserdem möchte ich glauben, dass wir in diesem Fall auf das Urtheil Solcher mehr zu geben haben, die nicht durch vielfältige Erfahrungen die ursprüngliche Ungenauigkeit ihrer Wahrnehmungen vielleicht etwas corrigirt haben, also Solcher, die nicht viele messende Versuche mit ihrem Auge anstellen. Ich habe nun eine grössere Anzahl von Laien in dieser Hinsicht untersucht und immer nahezu den gleichen relativen Unterschied zwischen verticaler und horizontaler Distanz gefunden. Ausserdem finde ich, dass auch Oppel schon die gleiche Wahrnehmung gemacht hat, ohne aber messende Versuche anzustellen. (Jahresbericht des physik. Vereins in Frankfurt. 1858.)

anhaftet: diese blieben meistens bei den Netzhautempfindungen stehen, ohne die Bewegungsempfindungen des Auges mit in Rücksicht zu ziehen, so kamen sie nicht hinaus über das physische Netzhautbild, und wie dieses zur Wahrnehmung kommt, vermochten sie in Wirklichkeit nicht zu erklären; Brücke blieb im Gegentheil stehen bei den Bewegungsempfindungen und sah sich demzufolge genöthigt, jede einzelne binokulare Tiefenwahrnehmung erzeugt zu denken aus einer grossen Summe einzelner Bewegungen, eine Annahme, welche der Prüfung des Versuchs nicht Stand halten konnte. Diese Schwierigkeit schwindet aber alsbald, wenn man die locale Färbung der Empfindung in jedem einzelnen empfindenden Punkt der Netzhaut noch zu Hülfe nimmt: dann braucht die Seele ebenso wenig jede einzelne Tiefenwahrnehmung erst im Moment der Anschauung in ihrem ganzen Umfang sich zu erzeugen, als sie bei jeder einzelnen Flächenwahrnehmung sich erst ihr Sehfeld bildet. In beiden Fällen haben die Muskelempfindungen die Bedeutung, dass sie die Seele auf der empfindenden Fläche ihrer Netzhaut gewissermassen orientiren, aber sobald diese Orientirung einmal erfolgt ist, werden auch die Netzhautempfindungen für sich im Stande sein unmittelbar zu Wahrnehmungen Veranlassung zu geben, ohne dass deshalb die Bewegungsempfindungen für das spätere Leben ihre Bedeutung verlieren, da sie überall zu Hülfe gerufen werden müssen, wo es um eine genauere Abschätzung von Flächen- oder Tiefendistanzen sich handelt, und da ohne Zweifel ohne ihren fortdauernden regulirenden Einfluss die bestimmten örtlichen Beziehungen der Netzhautempfindungen mit der Zeit wieder verloren gingen.

Die erste Bildung der binokularen Tiefenwahrnehmung denken wir uns demnach auf folgende Weise. Tritt ein einzelner leuchtender Punkt in das gemeinsame Sehfeld, so stellt sich, vermöge des ursprünglichen Reflexmechanismus zwischen den Eindrücken des gelben Flecks und der Bewegung des Auges, den wir früher erörtert haben, jedes einzelne Auge so ein, dass das Bild des Punktes den gelben Fleck deckt, d. h. dass die Sehaxen im leuchtenden Punkte sich kreuzen. Die eigenthümliche Association der Bewegungen beider Augen lässt sich somit erklären als dadurch zu Stande kommend, dass jedes einzelne Auge demselben Reflexmechanismus Folge leistet. Ob ausserdem jener Association noch ein besonderer physiologischer Zusammenhang zu Grunde liegt, bleibt dahingestellt, und ist ein solcher bis jetzt wenigstens nicht erwiesen. — Treten zwei oder mehr leuchtende Punkte im gemeinsamen

Sehfelde auf, so erfolgt nach einem früher erörterten Princip eine successive Perception derselben mit dem Punkte des deutlichsten Sehens, indem die Bewegungstendenz des Auges sich einem neuen Eindrucke zuzuwenden in dem Maasse wächst, als die Stärke des gegenwärtigen Eindrucks in Folge der Ermüdung sich abstumpft; es findet somit, da dies für beide Augen gleichzeitig gilt, eine successive Fixation der im Sehfeld vorhandenen Lichtpunkte statt. Finden sich die gegebenen Lichtpunkte in einer Ebene, die der Angesichtsfläche parallel ist, so resultirt hieraus das gemeinsame Sehfeld, liegen aber die Lichtpunkte so, dass zu ihrer successiven Fixation merklich verschiedene Convergenzgrade erforderlich sind, so bildet sich die Tiefenwahrnehmung aus. In beiden Fällen besteht nun eine bemerkenswerthe Verschiedenheit. Gehen die Augen im gemeinsamen Sehfeld fixirend von einem ersten Punkt zu einem zweiten über, so fällt nach dieser Bewegung das Bild des ersten Punktes in beiden Augen auf Netzhautstellen von annähernd correspondirender Lage (mit Vernachlässigung nämlich der bei der Untersuchung des Horopters gefundenen Abweichung); gehen dagegen beide Augen von einem ersten Punkt zur Fixation eines zweiten über, der eine erhebliche Strecke vor oder hinter dem ersten gelegen ist, so fällt bei der zweiten Stellung das Bild des ersten Punktes in beiden Augen auf Netzhautstellen, die nicht correspondirend sind, und die von der Correspondenz sich um so weiter entfernen, je grösser der Unterschied der successiven Convergenzwinkel war. — Gehen nun die Augen fixirend von einem ferner zu einem näher gelegenen Punkt über oder umgekehrt, so geben die bei dieser Bewegung entstehenden Muskelempfindungen ebenso ein Maass des zurückgelegten Weges, als wenn die Augen sich im Sehfeld bewegen, aber die hierbei stattfindende Muskelempfindung, deren veranlassende Bewegung nur in einer Aenderung des Convergenzwinkels besteht; ist offenbar verschieden von den Muskelempfindungen, die entstehen, wenn der Fixationspunkt in einer und derselben Ebene herumschweift. Indem die Muskelempfindungen ebenso wie bei der Bildung des Sehfeldes auf ihre Ursache zurückbezogen werden, erscheint der zurückgelegte Weg nicht als eine flächenhaft ausgedehnte Entfernung, sondern als eine Tiefendistanz. Auch hier kann dieses Zurückbeziehen auf die Ursache nicht mit der Bewegungsempfindung allein gegeben sein, sondern es kann erst entstehen, indem zu dieser Empfindung noch die durch die Bewegung bedingte Veränderung in der localen Färbung der Netzhautempfindungen sich hinzugesellt, und diese

Veränderung ist, wie oben bemerkt, wesentlich anders bei der Tiefenbewegung des Fixationspunktes als bei der Bewegung desselben im Sehfelde, erst diese Verschiedenheit in ihrem Zusammenwirken mit der Verschiedenheit der Bewegungsempfindungen des Auges begründet die Tiefenwahrnehmung. — Nun braucht aber das Auge nicht bei jeder einzelnen Wahrnehmung jene Convergenzbewegung auszuführen, die ursprünglich die Wahrnehmung der Tiefendistanz vermittelte, sondern es wird für diese in den Netzhautempfindungen allein ein Maass gewinnen. Bei den Bewegungen des Fixationspunktes im gemeinsamen Sehfeld werden successiv die gesehenen Punkte über Netzhautstellen von correspondirender Lage bewegt, bei den Bewegungen des Fixationspunktes nach der Tiefe des Raumes fallen successiv die gesehenen Punkte auf Netzhautstellen von disparater Lage, und um so mehr, je grösser der Unterschied der auf einander folgenden Convergenzgrade ist. Auf diese Weise wird für die Seele, wenn beide Augen einen bestimmten Punkt fixiren, die correspondirende oder disparate Lage der übrigen Punkte des Objectes unmittelbar entscheidend, und sie fasst darnach das Object entweder auf als flächenhaft oder als nach drei Dimensionen ausgedehnt, und im letzteren Fall giebt ihr der Grad der Incongruenz unmittelbar ein Maass ab für die Grösse der Tiefenausdehnung.

Es ist in dem Obigen davon abgesehen worden, dass es streng genommen, wie die Untersuchungen über den Horopter lehren, gar kein gemeinsames Sehfeld von flächenhafter Ausdehnung giebt. Aber die Erfahrung zeigt, dass hiervon abgesehen werden kann, weil wir jene Incongruenzen der Netzhautbilder, die durch den Horopter bedingt sind, bei der Wahrnehmung ganz ausser Acht lassen, so dass wir erst durch besonders darauf gerichtete Versuche oder bei einer Nähe der fixirten Objecte, die nur als Ausnahmefall vorkommt, auf sie aufmerksam werden. Wir fassen unser gemeinsames Sehfeld im Allgemeinen als eine Ebene auf, die zur Halbirungslinie des Convergenzwinkels senkrecht steht, in einer solchen Ebene ist auf den Netzhauttheilen, mit denen noch ein hinreichend deutliches Sehen möglich ist, die Incongruenz der Netzhautbilder in der That sehr gering und gar nicht in Betracht kommend gegen die beim Sehen körperlicher Objecte bestehende. Es mag aber auch sein, dass wir jene Incongruenz deshalb so leicht übersehen, weil sie unsere Wahrnehmung überall begleitet und doch für dieselbe keine Bedeutung hat.

Wir sind im Stande, den Einfluss der Convergenzbewegungen auf die Tiefenwahrnehmung mit weit grösserer Schärfe

zu beweisen, als wir den ähnlichen Beweis für den Einfluss der Bewegungen des Auges überhaupt auf die Entstehung des Sehfeldes zu führen vermochten. Wenn aber dort der Einfluss der Augenbewegungen mit aller Sicherheit zu beweisen ist, so ist dies Ergebniss offenbar auch für die Theorie der Bildung des Sehfeldes von Wichtigkeit, indem es die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass auch hier der gleiche Einfluss wirksam gewesen ist. Denn wenn trotz der früher beigebrachten Beweismittel die Annahme noch Schwierigkeiten haben sollte, dass die Bewegung des Auges in der erörterten Weise wirksam ist bei der Entstehung der räumlichen Wahrnehmung, so ist diese Schwierigkeit in gleicher Weise vorhanden bei der Flächen- wie bei der Tiefenwahrnehmung, wenn daher diese Schwierigkeit für den einen Fall durch die directe Untersuchung besiegt ist, so verschwindet sie auch für den andern. Ja, es scheint mir an sich, ganz abgesehen von den specielleren Gründen, viel schwieriger zu sein, anzunehmen, dass, was im einen Fall wirksam ist, im andern seine Wirksamkeit verliere, als vorauszusetzen, dass in beiden Fällen die räumliche Wahrnehmung in völlig gleichartiger Weise sich entwickele.

Der Beweis für den Einfluss der Convergenzbewegungen auf die Tiefenwahrnehmung ist im ersten Abschnitt dieser Abhandlung geführt worden, wo durch directe Versuche gezeigt wurde, dass wir an dem Convergenzzustand unserer Sehaxen ein äusserst feines Maass für die Entfernung der Gegenstände besitzen. Es fand sich jedoch, dass diese Feinheit der Tiefenwahrnehmung einen sehr hohen Grad nur in Bezug auf die relative Bestimmung der Entfernungen erreicht, während wir in der Schätzung der absoluten Entfernungen nicht unerheblichen Fehlern unterworfen sind. Dies spricht sich deutlich auch beim stereoskopischen Sehen aus. Wir vermögen, namentlich wenn das betrachtete Object nicht dem Auge sehr nahe ist, deutlich zu entscheiden, ob eine Contour vor oder hinter einer andern befindlich ist, aber die Grösse der Tiefendistanz können wir gewöhnlich nur sehr ungefähr angeben. — Diese Thatsache hat keineswegs etwas Auffallendes, wenn man erwägt, dass einer und derselben Tiefendistanz in verschiedenen Entfernungen vom Auge ein verschiedener Werth des Convergenzwinkels, und in Folge dessen auch ein verschiedener Grad der gegenseitigen Verschiebung der Netzhautbilder entspricht. Wollten wir über eine absolute Tiefenentfernung im freien oder stereoskopischen Sehen mit vollkommener Sicherheit urtheilen, so müssten wir somit jedesmal die wirkliche oder scheinbare Entfernung des Objectes vom Auge mit in

Rehnung ziehen. Zu einer so weit gehenden Beurtheilung gelangen wir nun offenbar in unseren Wahrnehmungen nur in sehr entfernter Annäherung. Es stellt sich ferner bei der Betrachtung der früher mitgetheilten Tabelle über die Unterscheidungsgrenze der Tiefendistanzen die interessante Thatsache heraus, dass in den verschiedenen Entfernungen des Objects vom Auge die Grösse des Drehungswinkels, also auch die Grösse des Contractionsumfangs der bewegenden Muskeln, die gerade noch wahrgenommen werden kann, eine verschiedene ist: je ferner die Objecte sich befinden, je mehr also die Sehaxen sich dem Parallelismus nähern, um so kleiner ist der Drehungswinkel, der noch wahrgenommen wird, je näher die Objecte rücken, in je grösserer Convergenz also die Sehaxen befindlich sind, um so grösser wird jener Drehungswinkel. So wurde z B. in 160 Cm. Distanz die Unterscheidungsgrenze = 3 Cm. gefunden, was einem Drehungswinkel von 1′ 13″ entspricht; in einer Entfernung von 50 Cm. Distanz wurde die Unterscheidungsgrenze = 1 Cm. gefunden, was einem Drehungswinkel von 4′ 12″ entspricht. Dies würde also bedeuten, dass ein schon zusammengezogener Muskel eine stärkere Verkürzung nöthig hat, wenn diese noch wahrgenommen werden soll, als ein Muskel, der eben erst anfängt sich zusammenzuziehen, ein Gesetz für die Muskelempfindungen, das den in andern Sinnesgebieten gültigen Thatsachen vollkommen entsprechend ist.

Bei weiteren Entfernungen als 160 Cm. nimmt der wahrzunehmende Drehungswinkel nicht mehr erheblich ab, so dass ungefähr 1′ als der kleinste Winkel betrachtet werden kann, der durch Drehung des Auges noch wahrzunehmen ist. Dieser Grenzwerth stimmt sehr nahe überein mit demjenigen Werth, der im Mittel für die kleinsten wahrnehmbaren Distanzen aufgefunden worden ist. Dieser bewegt sich bei den meisten der Beobachter zwischen 60 und 90 Winkelsekunden.*)

Wir haben in den obigen Untersuchungen den Beweis geführt, dass nicht blos ein einzelner Netzhautpunkt des einen Auges einem Netzhautpunkt von correspondirender Lage im andern Auge beigeordnet ist, um mit ihm allein räumlich einfache Empfindungen vermitteln zu können, sondern dass jeder Netzhautpunkt eines Auges sowohl mit einem Netzhautpunkt von correspondirender als von disparater Lage räumlich einfache und räumlich geschiedene Wahrnehmungen erzeugen kann, und dass beides nur davon abhängt, auf welche räum-

*) Vergl. die Tabelle bei Helmholtz, Physiologische Optik. S. 218.

liche Lage des äusseren Objects die Gesichtsempfindungen bezogen werden. Von vornherein, ohne dass der psychische Wahrnehmungsact vorhanden ist, werden aber die Empfindungen überhaupt gar nicht objectivirt, es haben daher in diesem Zustand die Netzhautempfindungen beider Augen keine auf die räumliche Wahrnehmung gehenden Beziehungen zu einander, es kann hier weder von Einfach- noch von Doppelsehen streng genommen die Rede sein, oder es könnte doch, wenn man die Empfindung an sich schon ein Sehen nennen wollte, dieses Sehen nur ein Doppelsehen genannt werden. Die obige Theorie der Raumanschauung verlangt in der That, dass die Netzhautempfindungen beider Augen von Anfang an getrennt neben einander bestehen, und dass dieselben erst im Verlauf des Wahrnehmungsprocesses zu einem einheitlichen Sehact verschmolzen werden. In diesem Wahrnehmungsprocesse können aber seiner Natur nach sowohl die Empfindungen correspondirender wie die Empfindungen nicht correspondirender Netzhautstellen zur Verschmelzung kommen, und beides hat für die einzelne Wahrnehmung seine bestimmte Bedeutung. Es kann aber, sobald man auch die Entstehung des Sehfeldes in das Gebiet des Wahrnehmungsprocesses hineinzieht, niemals aus diesem Processe ein festes Verhältniss zwischen bestimmten Netzhautpunkten sich hervorbilden, weil ein solches festes Verhältniss in den Empfindungen dieser Punkte eben nicht existirt. Dieser Wechsel in den Beziehungen der Empfindungen der Netzhautpunkte auf einander, der, da der ihn bedingende Wechsel in den Lageverhältnissen der Netzhautbilder von vornherein vorhanden ist, gleichzeitig mit der ersten Bildung räumlicher Wahrnehmungen überhaupt auch in seinen Elementen gegeben sein muss, ermöglicht erst die hohe Vollendung unserer Gesichtswahrnehmungen. Es ist eine gewöhnliche Betrachtungsweise, zu sagen, mit unsern zwei Augen betrachteten wir die äussere Welt von zwei verschiedenen Standpunkten, unsere binokularen Gesichtswahrnehmungen seien daher in dem Maasse vollkommener als das, was wir blos mit einem Auge wahrzunehmen vermöchten, wie ein Beobachter einen Gegenstand, den er von zwei Seiten betrachtet, genauer kennt, als wenn er ihn blos von einer Seite in's Auge fasst. Aber diese Betrachtungsweise erschöpft noch lange nicht die Vollkommenheit unserer binokularen Gesichtswahrnehmung. Sie würde nur zutreffen, wenn unser Auge bei jeder Wahrnehmung ruhend verbliebe. Aber indem wir die Augen fortwährend bewegen, wechseln wir fortwährend die Richtung, in der wir die Dinge betrachten: unsere Augen sind zwei

Beobachter, die in genauer Uebereinstimmung mit einander von verschiedenem Standpunkte aus den Gegenstand von allen möglichen Seiten in's Auge fassen, um schliesslich alle einzelnen Aufnahmen des Gegenstandes zu einem gemeinsamen Bild zu vereinen. Diese Einrichtung würde ihre hohe Bedeutung verlieren, wenn, wie es die Identitätslehre voraussetzt, die zwei Netzhäute durch einen anatomischen Mechanismus unauflöslich so aneinander gekettet wären, dass ein Netzhautpunkt nur mit dem ihm correspondirenden Punkt im andern Auge eine einfache Empfindung zu vermitteln vermöchte, und wenn die Tiefenwahrnehmung nur erst aus einer Vernachlässigung von Doppelbildern sich hervorbilden könnte. Es würde unsere Gesichtswahrnehmung, indem sie ihren einen Vorzug gewönne, ihren andern Vorzug, der von mindestens ebenso grosser Bedeutung ist, die Schärfe ihrer Auffassung, einbüssen. Die Bildung des Sehfeldes mag vielleicht früher abgeschlossen sein als die binokulare Tiefenwahrnehmung, weil zu jener schon das einzelne Auge befähigt ist; aber sobald einmal die Seele beide Gesichtsempfindungen zur Wahrnehmung verwendet, so muss unmittelbar auch die binokulare Tiefenwahrnehmung sich entwickeln, denn die Bedingungen für diese sind vorhanden, sobald der gemeinsame Sehact und die Bildung eines gemeinsamen Sehfeldes beginnt. Das binokulare Sehen fasst gemeinsames Sehfeld und Tiefenwahrnehmung gleichzeitig in sich. Der physische Mechanismus, der dem binokularen Sehen zu Grunde liegt, ist in Folge dessen ein verwickelterer, als er beim monokularen Sehact stattfand, es sind daher auch die psychischen Processe, aus denen die Seele sich die binokulare Gesichtswahrnehmung aufbaut, verwickelterer Natur: es handelt sich nicht mehr blos darum, jede einzelne Netzhautempfindung auf eine feste Bewegungsempfindung zurück zu beziehen, und daraus ein unveränderliches gegenseitiges Lageverhältniss für alle Netzhauteindrücke aufzufinden, sondern es handelt sich darum, zuerst die zusammengehörigen Netzhautempfindungen beider Augen auf einander zu beziehen, und dann erst dieselben auf die ihnen entsprechenden Bewegungsempfindungen zurückzuführen. Hier erfährt die Seele eine längere Reihe physischer Eindrücke, die für ihre Wahrnehmung von Bedeutung sind, und der Wahrnehmungsact selber muss auf eine längere Reihe unbewusster Schlüsse sich stützen. Aber diese Schlussprocesse folgen sich hier mit der gleichen Nothwendigkeit wie dort. So oft Gesichtseindrücke auf beide Augen stattfinden, wiederholt sich die ähnliche Reihe physischer Vorgänge in unabänderlicher Folge:

der Seele bleibt nicht die Wahl, nach Willkür ihre Gesichtseindrücke zu deuten, sondern sie wird durch eine immerfort sich häufende Zahl von Impulsen zu derjenigen Deutung unbewusst gezwungen, die der wahren Beschaffenheit der äusseren Gegenstände entsprechend ist.

Es wurde oben bereits darauf hingewiesen, dass in dieser Theorie der binokularen Gesichtswahrnehmung vorausgesetzt ist, die Netzhautempfindungen beider Augen beständen von Anfang an getrennt und unabhängig neben einander und würden erst in der Wahrnehmung zu einem Ganzen verschmolzen. Zwar sprechen schon unsere bisherigen Untersuchungen für die Richtigkeit dieser Annahme, doch kann dieselbe noch nicht als direct bewiesen betrachtet werden. Diese Beweisführung soll die Aufgabe der folgenden Abhandlung sein.

Ueber das electrische Verhalten der Oberfläche des menschlichen Körpers.

Von

G. Meissner.

Seit langer Zeit ist man gewohnt, Untersuchungen im Gebiete der thierischen Electricität von vornherein für solche zu halten, die mit Hülfe stromprüfender Instrumente, Galvanometer oder Multiplicator, angestellt werden. So mag denn sogleich bemerkt werden, dass hier von derartigen Untersuchungen nicht die Rede sein wird: nicht das Galvanometer und Multiplicator waren die Hülfsmittel, sondern das Electroskop und der Condensator, nicht um electrische Ströme soll es sich handeln, sondern um statisch-electrische Erscheinungen, die von der Oberfläche des menschlichen Körpers zu erhalten sind.

Somit finden die hier mitzutheilenden Beobachtungen innerhalb der letzten 20 bis 25 Jahre keinen speciellen Anknüpfungspunkt, sie nehmen einen seit langer Zeit fast ganz in Vergessenheit gerathenen Gegenstand wieder auf, denn, so viel mir bekannt ist, war die im Jahre 1834 erschienene unter Nasse in Bonn ausgearbeitete Dissertation von Sterneberg (vergl. unten) die letzte Arbeit, in der das Verhalten des menschlichen Körpers am Electroskop Gegenstand specieller Untersuchung war. — Mit Recht mussten die Untersuchungen am Multiplicator, Untersuchungen über die von thierischen Leibern und Organen abzuleitenden Ströme fortan ein bei weitem grösseres Interesse in Anspruch nehmen und vollends jene anderen Werkzeuge aus den physiologischen Laboratorien verdrängen, als Du Bois-Reymond bahnbrechend dem Gebiete der thierischen Electricität sich zuwandte. In dem Maasse, wie die mit Du Bois' Untersuchungen gewonnenen Resultate glänzten, ebenso unerfreulich und trostlos war das Bild, welches die zahlreichen früheren Untersuchungen über

thierische Electricität mit Hülfe des Electroskops zurückgelassen hatten, deren unsichere und unbedeutende Resultate nicht geeignet waren, zu ferneren Bemühungen in dieser Richtung aufzufordern und anzuregen. Denn gar nicht zu reden von jenen Beobachtungen, die nur darauf gerichtet waren, nachzuweisen, dass an thierischen Leibern durch Reibung Electricität entwickelt werden könne, womit man sich einst schon begnügte, um den Begriff einer thierischen Electricität zu begründen, so ging doch auch aus den späteren Untersuchungen, die es nicht mit solcher Electricität aus gewöhnlicher und rein zufälliger Quelle, sondern mit wirklich thierischer Electricität, sogenannter spontaner Electricität der Thiere, zu thun haben wollten, nicht einmal klar und zweifellos hervor, ob irgend eine von der Oberfläche des menschlichen Körpers am Electroskop zu erhaltende Wirkung sicher aus dem Körper und nicht von der Reibung der Haut und der Haare nur herstamme. Die Angaben verschiedener Autoren stimmten nur schlecht zusammen, und zum Theil musste mit Recht auch die Zuverlässigkeit der Versuchsmethoden angezweifelt werden, denn die Zahl der möglichen Fehlerquellen bei Untersuchungen mit Electroskop und Condensator ist gross. So machte denn auch die bis dahin vorhandene und, wie gesagt, später nicht gewachsene Literatur unseres Gegenstandes auf Du Bois den Eindruck, dass er sowohl selbst von derartigen Versuchen abstand, als auch überhaupt von einer Wiederaufnahme abrieth, so fern dieselben einen Wenig oder Nichts versprechenden Weg verfolgt zu haben schienen, und ein richtiger Weg zur Kenntniss und Durchforschung der thierischen Electricität gefunden und geebnet war.

Eben weil es aber doch nicht endgültig entschieden war, ob nicht gewisse, wenn auch schwache, unbedeutende statisch-electrische Wirkungen ihre Quelle im Innern des lebenden Körpers haben, so blieb hier eine wenn auch sehr kleine Aufgabe zu lösen übrig. Ein Zufall führte mich im Winter vor zwei Jahren auf dieselbe, und nachdem ich mich alsbald überzeugt hatte, dass es sich in der That um mehr als blosse Reibung der Epidermis und Haare und dabei erzeugte Electricität handelt, setzte ich die Untersuchung fort und nahm sie auch im Winter der beiden folgenden Jahre wieder auf. Die Trockenheit der Luft an kalten Wintertagen und die Wärme des geheizten Ofens sind, wie für alle feineren Untersuchungen über gespannte Electricität so auch für die hier mitzutheilenden nothwendig, daher war ich oftmals gezwungen, die Untersuchung zu unterbrechen, so wie dieselbe über ein Paar Jahre auszu-

dehnen. Die Zahl der hier möglichen verschiedenen Versuche ist nicht gross, aber jeder einzelne derselben musste sehr häufig wiederholt werden.

Die Instrumente, deren ich mich bedient habe, waren zum Theil dem physikalischen Cabinet in Freiburg, zum Theil dem physikalischen Cabinet in Göttingen entliehen, zum Theil gehören sie dem physiologischen Institute in Göttingen. Herrn Professor Müller in Freiburg und Herrn Professor Weber in Göttingen bin ich zu grossem Danke verpflichtet für die Ueberlassung jener Apparate.

Nothwendig sind nur die folgenden Instrumente: Ein sehr empfindliches Goldblattelectroskop, wo möglich so eingerichtet, dass je nach Umständen ein Knopf oder ein Condensator darauf geschraubt werden kann. Ein Säulenelectroskop, am besten in der bekannten von Fechner angegebenen Form. Ein Condensator von sehr gut gefirnissten Platten von Messing oder Kupfer gebildet, auf sehr gut isolirendem Träger und mit gleichfalls sehr gut isolirender Handhabe. Dieser Condensator soll wo möglich 8—10 Zoll Durchmesser der Scheiben haben. Für einen Theil der Versuche ist ein Condensator nach Kohlrausch, mit Luft als Isolator statt Firniss, wenn nicht nothwendig, doch sehr wünschenswerth. Ein Isolirschemel mit möglichst gut isolirenden Stützen. Endlich eine Anzahl verschieden grosser rein metallischer, nicht gefirnisster Messingscheiben mit gut isolirenden Handhaben, nach Art der Condensatorscheiben.

Es versteht sich von selbst, dass alle zu gebrauchenden Instrumente ganz besonders sorgfältig auf ihre Tauglichkeit und Empfindlichkeit geprüft werden müssen, und man hat in dieser Beziehung einen ungefähren Massstab daran, dass die Volta'schen Fundamentalversuche mit 3zölligen Kupfer- und Zinkscheiben mit Hülfe der dabei in Frage kommenden jener Instrumente sehr gut gelingen müssen. — Auf einzelne zu beobachtende Vorsichtsmassregeln werde ich im Verlauf zurückkommen. Die Instrumente müssen für die Dauer der Versuche im warmen Zimmer in der Nähe des Ofens stehen und natürlich sorgfältig vor Feuchtigkeit bewahrt werden.

Für die Darstellung der Versuche ist eine Eintheilung in zwei Abschnitte nothwendig, und zwar eine Eintheilung nach Regionen der Körperoberfläche, um deren Untersuchung es sich handelt. Auffallender Weise findet sich in fast keiner der zahlreichen früheren Untersuchungen über das Verhalten der Hautoberfläche am Electroskop eine Berücksichtigung der Verschiedenheit in der Beschaffenheit verschiedener Hautpartien,

überhaupt nur eine genaue Angabe über die untersuchten Hautstellen. Während man allerdings wohl voraussetzen kann, dass zum Berühren des Condensators oder electroskopischer Vorrichtungen meistens die Fingerspitzen oder die Vola der Hand benutzt wurde, so findet sich auch zuweilen geradezu die Angabe, dass verschiedene Hautstellen mit dem Condensator in Berührung gebracht wurden; Näheres aber wird nicht angegeben, und man fand auch kein Interesse daran, über das Verhalten verschiedener Hautregionen etwas Besonderes auszusagen. Daraus muss man schliessen, wie sich herausstellen wird, dass die Beobachtungen im Ganzen ziemlich oberflächlich angestellt wurden, denn gerade gewisse Verschiedenheiten im Verhalten verschiedener Theile der Körperoberfläche bilden eines der wichtigsten Momente in der Untersuchung. In dem einen Abschnitte soll das Verhalten der Volarfläche der Hände, der Plantarfläche des Fusses und der zugänglichen Theile von Schleimhäuten, wie der Lippen- und Nasenschleimhaut, untersucht werden; in dem andern Abschnitte, mit dem ich den Anfang machen werde, das Verhalten der ganzen übrigen Körperoberfläche. Dieser grösste Theil der Hautoberfläche ist mit Ausnahme einzelner Partien im gewöhnlichen Zustande trockner als jene erstgenannten Theile und mehr oder weniger mit Haaren und sehr feinen Härchen bekleidet.

Nun ist bekannt, dass sowohl trockne Epidermis, als ganz besonders Haare, speciell auch menschliches Haar electrisch werden kann beim Reiben. Bevor also die Oberfläche solcher Körpertheile, welche mit mehr oder weniger trockner und behaarter Epidermis bekleidet sind, auf etwaige electrische Wirkungen untersucht werden können, die nicht ganz zufälligen, künstlich herbeigeführten Umständen ihr Entstehen verdanken, ist es nothwendig zu untersuchen, unter welchen Umständen und in welcher Art und Stärke die Epidermis und die Haare dabei electrisch gemacht werden können. Doch beabsichtige ich nicht, die genannten Theile etwa auf alle hier mögliche Weise zu prüfen, denn für das Folgende hat es nur Interesse, solche Umstände in Betracht zu ziehen, welche bei den späteren eigentlichen Versuchen in Betracht kommen sollen oder können. Solche sind das Reiben und Drücken der Epidermis und Haare mit Metall, speciell mit Kupfer oder Messing, und das Reiben mit Leinwand, Baumwolle, Wolle.

Wenn man trocknes menschliches Haar mit einer isolirten rein metallischen Kupfer- oder Messingscheibe, besonders mit dem Rande derselben, der Länge nach streicht, so nimmt die

Metallscheibe starke negative Ladung an, welche oft schon aus einiger Entfernung auf ein empfindliches Goldblatt-Electroskop wirkt. Namentlich bei den kleinen kurzen Haaren, wie sie sich an Armen und Beinen finden, ist es viel wirksamer das Streichen so auszuführen, dass die Haare sich dabei aufrichten müssen, als in der Art, dass sie sich dabei gleich von Anfang an weiter niederlegen müssen. Andere Art des Reibens ist nicht so wirksam zur Electrisirung, wie das Streichen der Länge nach, wie solche Differenzen ja vielfach bei Körpern, die durch Reiben electrisch werden, vorkommen. Streicht man das Kopfhaar mit einer Bürste oder mit den Händen und nähert dem Kopfe dann ein Electroskop, so divergiren die Goldblätter mit positiver Electricität: die Haare sind auch dabei positiv electrisch geworden. Das Kopfhaar wird nun allerdings bei den späteren Versuchen nicht in Frage kommen; aber da bei einem Theil der Versuche eine Kupfer- oder Messingscheibe auf die Haut gesetzt wird, so kann im Allgemeinen das Electrischwerden der kleinen Haare eine Fehlerquelle bei den Versuchen sein, denn wenn auch die Platte ruhig aufgesetzt und abgehoben werden soll, so ist es doch unmöglich zu behaupten, dass dies ohne Reibung von Haaren geschehen könne. Auch die vor den Versuchen stattgehabte Reibung der Haare mit den Kleidungsstücken kann dieselben für einige Zeit electrisch machen. An stärker behaarten Körpertheilen, wie z. B. an der Vorder- und Seitenfläche des Unterschenkels, kann man sich auch leicht davon überzeugen, wie je nachdem man absichtlich ruhiger, vorsichtiger oder mit mehr Reibung verbunden die später zu beschreibenden Versuche anstellt, sich nicht oder in merklichem Grade die Wirkung der Reibung auf die Haare einmischt. Dagegen gewinnt man auch leicht die Ueberzeugung, dass an den allgemein minder behaarten Theilen, wie z. B. die Beugeseite des Arms, Hautpartien, wo sich meist nur sehr einzeln sehr feine, zuweilen kaum sichtbare Härchen befinden, diese Härchen ganz und gar ohne Einfluss auf die Versuche sind und auch bei noch so starker Reibung nicht merklich electrisch werden. Das Gleiche gilt von dem Flaum, welcher die Gesichtshaut, so weit sie von Bart, Augenbrauen frei ist, überzieht. Jedenfalls ist es für die hier interessirenden Versuche wichtig und vortheilhaft, wenn man eine möglichst wenig behaarte Haut besitzt; meine Haut ist in dieser Beziehung günstig beschaffen, ich brauchte an den meisten Stellen die Härchen gar nicht zu berücksichtigen. Für Solche aber, die eine stärkere Haarentwicklung haben, so wie für solche Körpertheile, die allgemein

bei Erwachsenen eine deutlich sichtbare dichtere Behaarung haben, giebt es auch ein Mittel, sie von diesem Versuchshinderniss zu befreien, nämlich das Rasiren. Die nach dem Rasiren übrig bleibenden mit blossem Auge nicht sichtbaren Haarstümpfe, die nur noch auf dem Querschnitt gerieben werden können, werden dabei nicht electrisch. Auch die Stümpfe eines schon im Wiederwachsen begriffenen Bartes pflegen beim Reiben nicht electrisch zu werden; es scheint eben das Streichen der Länge des Haares nach nothwendig zur Electrisirung zu sein. Uebrigens wird man vielleicht auch hier bei den kleinen Härchen auf individuelle Verschiedenheiten aufmerksam sein müssen, denn z. B. vom Kopfhaar ist es bekannt, dass es bei einigen Menschen bis zum Funkensprühen electrisch wird beim Kämmen, bei anderen Menschen nur sehr mässig. Jeder, der Versuche über Spannungswirkungen am Körper anstellt, wird zuvor zu prüfen haben, in wie weit die Haare zu berücksichtigen sind.

Was die Epidermis betrifft, so habe ich mich erst nach vielen Versuchen davon überzeugt, dass wenigstens für meine Haut meine Besorgniss wegen Störungen von dieser Seite anfänglich viel zu gross war. Die möglichst trockne Epidermis wurde bei noch so starkem Reiben mit Metall oder mit Leinwand nur so schwach electrisch, dass es meistens gar nicht nachzuweisen war. Die Epidermis von Leichen, welcher offenbar leichter eine gewisse Trockenheit ertheilt werden kann, als der lebender Körper, wurde etwas leichter beim Reiben electrisch, immerhin aber doch auch nur schwach. Wenn beim Reiben mit Metall merkliche Electrisirung eintritt, so wird das Metall, Kupfer, Messing, meistentheils negativ; de la Rive hat schon angegeben, dass Ausnahmen vorkommen, was ich selten auch beobachtet habe: letztere rühren nach de la Rive daher, dass das Metall mit einer Oxydschicht überzogen ist, die beim Reiben abgerieben und nun zunächst mit dem Metall gerieben wird, wobei das Metall positiv wird.

Ich darf nach sorgfältiger Prüfung behaupten, dass diejenigen der folgenden Versuche, bei denen eine zufällige Electrisirung von Haaren oder Epidermis in Frage kommen könnte, durch solche Einmischung ungetrübt sind; den sichersten Beweis aber werde ich durch Mittheilung einer Form derselben Versuche liefern können, bei welcher jeder Verdacht von vorn herein ausgeschlossen ist.

Wenn man auf die wie gewöhnlich trockne Haut über den Muskelbäuchen am Vorderarm eine Messingplatte mit wohl

isolirender Handhabe und mit rein metallischer Oberfläche, ohne Spur von irgend welchem Firniss, ruhig aufsetzt und nach einigen Augenblicken gradlinig wieder abhebt, so hat die Messingscheibe eine zwar nach Umständen verschieden starke, aber in der Regel ansehnliche electrische Ladung angenommen, welche bei Berührung des Knopfs eines empfindlichen Electroskops eine Divergenz der Goldblätter von 20 bis 30^0 bewirken kann. Das beim Annähern einer mit Seide geriebenen Glasstange von oben gegen den Knopf des Electroskops erfolgende Zusammenfallen der Goldblätter, so wie die beim Annähern einer mit Wolle geriebenen Siegellackstange eintretende stärkere Divergenz derselben weist die Ladung des Electroskops und der aufgesetzten Metallplatte als negativ aus.

Dieser Versuch muss in der genannten einfachsten Form auffallend erscheinen, weil ohne Weiteres nicht sofort einzusehen ist, woher die (negative) Ladung der isolirt aufgesetzten Scheibe stammt, wie diese Ladung überhaupt möglich war.

Die Möglichkeiten, an welche man hier denken könnte, sind folgende. Electricität könnte erzeugt worden sein entweder während des Aufsetzens der Metallscheibe oder beim Abheben derselben zwischen der Haut und der Scheibe; oder vorher schon vorhandene und von der Manipulation unabhängige Electricität könnte entweder durch Mittheilung, durch Ueberströmen in die Scheibe die Ladung derselben bewirkt haben, oder durch Vertheilung, Influenz die Scheibe electrisch gemacht haben.

Was die erstgenannte Möglichkeit betrifft, dass nämlich die zur Erscheinung kommende Electricität erst bei der Manipulation erzeugt worden wäre, so fällt die Widerlegung und Zurückweisung derselben eigentlich zusammen mit dem, was ich oben vorausgeschickt habe; denn bei den relativ starken Ladungen, wie man sie erhält, könnte wohl nur Reibung, allerhöchstens noch etwa Druck als Electricität erzeugendes Moment in Frage kommen. Ich könnte also anführen, dass man, unter Voraussetzung der Abwesenheit von Haaren, durchaus keine Vermehrung der Ladung erhält, wenn man die Metallscheibe auf der Haut reibt, ja bei starkem Reiben sogar geringere oder gar keine Ladung erhält (worauf ich unten zurückkomme), dass ebensowenig ein stärkeres Drücken die Ladung zu verstärken vermag, und dass man bei möglichst ruhigem Aufsetzen und gradlinigem Abheben der Scheibe die stärksten Ladungen erhält. Indessen will ich gar nicht einmal diese Argumente, bei denen man sagen könnte, dass es sich doch immer nur um ein Mehr oder Weniger handle,

als ganz streng beweisend hinstellen, sondern ich will auf einen Versuch verweisen, der erst weiter unten mitgetheilt werden kann, welcher in aller Strenge den Beweis liefert, dass bei jenem Versuch an der Ladung der Metallscheibe die Manipulation absolut unbetheiligt ist, wenigstens (um eine allerdings mögliche Einmischung zu berücksichtigen) absolut unbetheiligt sein kann. — Nehmen wir dieses somit hier schon als erwiesen an, so handelt es sich also jedenfalls um eine schon vor dem Versuch und unabhängig von demselben vorhandene Electricität, und es bleibt zu entscheiden, ob dieselbe die Metallscheibe durch Mittheilung oder durch Vertheilung ladet.

Fände aus der genannten Hautpartie ein Ausströmen von Electricität statt, welches ohne irgend welche unterstützende Vorrichtung eine Metallscheibe so stark laden kann, dass diese Ladung die genannte ansehnliche Divergenz am Electroskop bewirkt, so müsste nothwendig solches Ausströmen auch unmittelbar am Electroskop wahrnehmbar sein, man müsste erwarten, bei Berührung des freien metallischen Endes der beiden Goldblätter mit dem Arm sofort Divergenz derselben zu sehen. Zwar könnte möglicherweise das gewöhnlich knopfförmig beschaffene freie Ende des Electroskops eine zu kleine Oberfläche darbieten; wenn man aber statt des Knopfs etwa dieselbe Metallscheibe, die mit isolirender Handhabe zu jenem Versuch diente, auf das Electrometer schraubt, dann müsste, im Fall es sich um Mittheilung von Electricität handelte, jedenfalls die dadurch erfolgende Ladung sich durch eine im ersten Moment der Berührung mit dem Arm beginnende und während der Berührung andauernde Divergenz der Goldblättchen zu erkennen geben. Dieses aber ist niemals der Fall; bei Anstellung desselben Versuchs, wie oben mit der auf das Electroskop festgeschraubten Scheibe bleiben die Goldblättchen, so lange auch die Berührung, das Aufliegen des Arms dauert, vollkommen in Ruhe. Wenn man den Versuch in dieser Form mit einem Säulenelectroskop anstellt, welches einen bedeutend höhern Grad von Empfindlichkeit haben kann, als ein gewöhnliches Bennet'sches Electroskop, so hat man sich hier ganz besonders vor falschen Anzeigen des Instruments zu hüten, wie sie bekanntlich bei demselben leicht vorkommen können.*)

*) Ist das das Säulenelectroskop umgebende Glas zufällig durch Reiben oder Streichen positiv electrisch geworden, so bewirkt die Berührung des Knopfs oder der aufgeschraubten Scheibe jedes Mal einen Ausschlag des Goldblatts zum positiven Pol, also Anzeige negativer Electricität. Die Berührung wirkt nur ableitend, indem das electrische Glas vertheilend wirkt.

Das Goldblättchen des Säulenelectroskops sollte beim Auflegen des Arms auf die aufgeschraubte Platte sofort einen Ausschlag zum positiven Pol machen und dadurch negative Ladung anzeigen, wenn Mittheilung von Electricität aus dem Arme stattfände: ein fehlerfreies Säulenelectroskop zeigt aber niemals die leiseste Spur solcher Ladung. Man könnte vielleicht meinen, dass Isolirung des Körpers stattfinden müsse, um die Ladung am Electroskop unmittelbar zu erkennen, obwohl diese Meinung deshalb ganz ungerechtfertigt sein würde, weil ja jene ansehnliche Ladung der mit isolirender Handhabe aufgesetzten und erst nachträglich an das Electroskop gebrachten Metallscheibe stattfindet ohne alle isolirende Vorrichtung für den Körper. Wie viel mehr müsste das Einströmen von Electricität in die auf das Electroskop unmittelbar aufgeschraubte Platte sich sofort zu erkennen geben, wenn es sich wirklich um einen solchen Vorgang handelte.

Endlich noch folgende Probe: wenn die auf den Arm gesetzte Scheibe durch Mittheilung geladen würde, so müsste die Anwendung des Condensators die Ladung verstärken. Wenn also etwa die obere Platte eines Condensators mit dem Arm berührt, die untere Platte abgeleitet wird, und gar noch der Körper auf dem Isolirschemel steht, so müsste die obere Collectorplatte eine ungleich stärkere negative Ladung annehmen, als dieselbe Platte annimmt bei gleicher Berührung mit dem Arm ohne condensatorische und isolirende Vorrichtung. Man bemerkt aber niemals eine Verstärkung der Ladung unter den genannten Umständen, die Metallscheibe ladet sich nicht anders als bei dem ersten Versuch, von dem ich ausging.

Diese negativen Versuchsresultate sprechen ganz entschieden gegen die Annahme einer Ladung durch Mittheilung von Electricität und deshalb zugleich für die Annahme der einzigen noch übrig bleibenden Möglichkeit, nämlich für Ladung durch Influenz, durch Vertheilung. Die vollkommene Richtigkeit dieser Annahme wird aber durch folgende Beobachtungen bewiesen. Hat man auf das gewöhnliche Goldblattelectroskop statt des Knopfes eine Messingplatte mit rein metallischer Fläche aufgeschraubt, und legt man den Arm mit genannter Stelle auf die Platte, so erfolgt während des Aufliegens, so lange dies auch fortgesetzt wird, Nichts, sobald man aber den

Täuschung kann dadurch wohl entstehen. Ich war genöthigt, ein mit jenem Fehler behaftetes Säulenelectroskop ganz bei Seite zu lassen, weil das Glas, welches nicht wohl abgenommen werden konnte, innen electrisch geworden war.

Arm abhebt, sei es nach kurzer oder längerer Berührung, so divergiren im Moment des Abhebens die Goldblätter und bleiben divergent, sie sind mit negativer Electricität geladen. Wenn wir es nun als sicher bewiesen betrachten, dass die in Rede stehende Wirkung ohne alle Betheiligung einer erst durch die Manipulation, hier beim Abheben des Arms, entstandenen Electricität erfolgt, was unten noch speciell bewiesen werden wird, so ist jene Erscheinung nur dahin zu erklären, dass in der auf den Arm gesetzten Scheibe negative Electricität gebunden, positive abgestossen und abgeleitet wird; die von der Körperoberfläche aus gebundene negative Electricität ist in Folge gleichzeitiger Ableitung der positiven im Ueberschuss vorhanden und verbreitet sich beim Abheben des Arms von der Scheibe über das ganze metallische System und bewirkt so die Divergenz der Goldblätter. Ebenso entsteht nun natürlich auch die Ladung der mit isolirendem Handgriff aufgesetzten Metallplatte, die nachträglich ihre Ladung am Electroskop bei Berührung desselben durch Mittheilung zu erkennen giebt. Das gleiche Resultat erhält man am Säulenelectroskop: das Goldblatt desselben bleibt ganz ruhig in der Mitte zwischen den beiden Polen, so lange der Arm auf der aufgeschraubten Scheibe ruhet, im Moment des Abhebens aber fliegt das Goldblatt mit Heftigkeit an den positiven Pol der Säule.

Mit so grosser Entschiedenheit alle bisher mitgetheilten Versuchsergebnisse für die Auffassung der Ladung der auf den Arm gesetzten Metallscheibe als durch Vertheilung bewirkt sprechen, so muss es doch einigermassen räthselhaft erscheinen, wie diese Ladung mit Influenzelectricität zu Stande kommen kann; denn es gehört dazu ausser einer vorhandenen mit gewisser Spannung angesammelten Electricität und ausser einer die Metallscheibe von dieser trennenden isolirenden Schicht auch Ableitung der bei der vertheilenden Wirkung abgestossenen Electricität aus der Metallscheibe. Zeigt, wie es der Fall ist, die Scheibe negative Ladung, und entstand diese in der That durch Vertheilung, so muss nothwendig eine gleiche Menge positiver Electricität von der Scheibe abgeleitet worden sein, während die negative gebunden wurde.

Bevor ich aufkläre, wie diese Ableitung bei jenem Versuch und bei den bisher mitgetheilten Versuchsformen überhaupt zu Stande kommt, will ich an das eben Bemerkte eine weitere Probe für die Richtigkeit meiner Erklärung knüpfen. Ist diese nämlich richtig, so muss der Versuch, die Scheibe zu laden, auch vollkommen gelingen, wenn man die Platte nicht

isolirt auf den Arm setzt, sondern dieselbe während des Aufsetzens und Aufliegens ableitet, aber natürlich vor dem Abheben diese Ableitung aufgehoben wird, die Scheibe also isolirt von dem Arme entfernt wird. In der That, wenn man die auf den Arm gesetzte Scheibe mit dem Finger berührt oder mit einer zum Erdboden geleiteten metallischen Leitung ableitet und unmittelbar vor dem Abheben der Platte vom Arm diese Ableitung unterbricht, so zeigt sich die Platte ebenso stark, ja zuweilen stärker geladen mit negativer Electricität, als wenn man dieselbe isolirt aufgesetzt und von absichtlicher Ableitung isolirt gelassen hat.

Wäre es noch nöthig Beweise beizubrigen, so wäre dieser letzte Versuch ein ganz unzweifelhafter Beweis gegen die Auffassung der Ladung als durch Mittheilung erfolgt, denn die mitgetheilte Electricität würde natürlich bei absichtlicher Ableitung der Scheibe sofort wieder ausströmen und nicht in der Scheibe sich ansammeln können.

In der letzten Form ist nun der Versuch auch sofort ganz übersichtlich; es ist ganz dieselbe Anordnung, wie wenn man z. B. mit einer geriebenen Glasstange ein Electroskop durch Vertheilung mit negativer Electricität ladet, was ja bekanntlich geschieht, indem man die Glasstange dem Knopf des Electroskops nähert und gleichzeitig den Knopf ableitend berührt, dann den Finger, die Ableitung, darauf die Glasstange entfernt, worauf die Goldblätter mit negativer Electricität divergiren.

Bei unserm Versuch mit dem Arm befindet sich unter oder in der Haut, jedenfalls von einer isolirenden oder schlecht leitenden Schicht bedeckt, positive Electricität, welche die negative Electricität der aufgesetzten Metallscheibe bindet und die positive derselben abstösst; diese wird von dem ableitenden Finger oder von einer metallischen Ableitung fortgeführt. Es fragt sich nun, welcher Theil diese Ableitung übernimmt, wenn der Versuch in der ersten einfachsten Form angestellt wird, bei welcher keine absichtliche Ableitung angebracht wird, vielmehr die mit gut isolirender Handhabe aufgesetzte Scheibe nur mit der Hautpartie in Berührung ist, durch welche hindurch die Vertheilung stattfindet.

Wenn man sich von der möglichst vollkommenen Isolirung der Scheibe durch die Handhabe überzeugt hat, so kann die Antwort nur die sein, dass die Oberfläche der Haut des Arms selbst die Ableitung übernehmen muss. Da nun aber dieselbe Haut auch als Isolator für die unter oder in der Haut vorhandene, die Influenz bewirkende positive Electricität auftritt,

so ist nur folgende Vorstellung mit den Thatsachen in Uebereinstimmung: in der Tiefe, an einem unten näher zu bestimmenden Orte, befindet sich positive Electricität von gewisser Spannung; darüber liegt eine schlecht leitende Schicht, die ich kurz isolirend nennen will, und darüber liegt eine oberflächliche leitende Schicht, die jedenfalls sich bis zu unmittelbarer Berührung mit der aufgesetzten Metallscheibe erstrecken muss, die aber auch nur ganz ausserordentlich dünn zu sein braucht. Diese dem Körper anhaftende leitende Schicht bildet beim Aufsetzen der Metallscheibe mit dieser gewissermassen einen Leiter und die in der Metallscheibe abgestossene positive Electricität fliesst von dem Rande derselben in den den Körper oberflächlich überziehenden Leiter ab.

Von vorn herein wird man darüber kaum in Zweifel sein, welcher Theil der Haut die isolirende Schicht bildet und worin die dieselbe überziehende leitende Schicht besteht: die isolirende Schicht ist die dünne verhornte Schicht der Epidermis und die über dieser befindliche leitende Schicht ist die auf der Epidermis angesammelte Feuchtigkeit, theils vom Körper selbst herstammend, theils, wie bei allen Körpern, aus der Atmosphäre condensirt. Dafür, dass die Hornschicht der Epidermis in der That den Isolator für jene Influenz bildet, werde ich unten einen directen Beweis bringen, und ist dieser geliefert, so kann die postulirte leitende Schicht, die oberflächlicher liegen muss als jene, auch nichts Anderes als das Bezeichnete sein.

Zur weitern Bestätigung des bisherigen Ergebnisses dient der folgende Versuch, der in anderm Interesse schon oben erwähnt wurde. — Wenn man sich auf den Isolirschemel mit gut isolirenden Stützen stellt und nun die Metallscheibe mit isolirender Handhabe auf den Arm setzt, so findet man beim Abheben das erste Mal ziemlich ansehnliche negative Ladung in derselben; setzt man nun, ohne den Isolirschemel zu verlassen und ohne überhaupt die möglichst vollkommene Isolirung des Körpers aufzugeben, zum zweiten, dritten u. s. w. Male die Scheibe auf, während man sie nach jeder Prüfung von einem Gehülfen, so wie auch das Electroskop entladen lässt, so findet man mit jedem Male schwächer werdende negative Ladung, eine Abnahme, die sich nicht zeigt, wenn der Versuch bei nicht isolirtem Körper mehrmals hintereinander wiederholt wird. Zuweilen ist die Ladung schon beim dritten Male gleich Null, besonders wenn die ersten Ladungen kräftig waren. Ist dieses Stadium eingetreten, so ist der ganze Körper an der Oberfläche mit positiver Electricität geladen: lässt

man durch einen Gehülfen ein Electroskop den isolirten Körper nur ganz leise berühren, wo er nicht mit schlechtleitender Kleidung bedeckt ist, so divergiren die Goldblätter sofort mit positiver Electricität. Man kann diese aus den Händen, aus dem Gesicht, aus den Füssen, sogar meistens durch die Fussbekleidung hindurch (wenn dieselbe nicht ganz trocken ist), bei nacktem Leibe von jeder beliebigen Körperstelle herausziehen, und zwar gelingt eine Ladung des Electroskops mehrmals nacheinander, was beweist, dass die leitende Schicht an der Oberfläche immerhin zu den weniger guten Leitern gehört. Der Körper ist also nach jenen Versuchen mit positiver Electricität an seiner Oberfläche geladen, so wie wenn er sich am Conductor der Electrisirmaschine geladen hätte, doch natürlich verhältnissmässig schwach. Woher diese positive Ladung der Körperoberfläche stammt, ist zweifellos: bei der Vertheilung in der Metallscheibe vom Arm aus floss die abgestossene positive Electricität über die Hautoberfläche ab und verbreitete und sammelte sich auf dieser, da der Körper isolirt war. Bei dem zweiten Aufsetzen der Scheibe fand die in derselben abgestossene positive Electricität schon eine gewisse gleichnamige Spannung auf der Körperoberfläche vor, daher weniger abgeleitet wurde und schwächere Ladung der Platte eintrat. So ging es fort, bis dass die positive Spannung auf der Körperoberfläche gleich der durch die Influenz vom Innern her in der Scheibe ursprünglich bewirkten negativen Spannung war, worauf keine positive Electricität von der Scheibe mehr abgeleitet werden konnte, folglich auch keine Ladung der Scheibe mehr zu Stande kam. Die Scheibe konnte aber dann auch nicht etwa positive Ladung von der Oberfläche des Körpers durch Mittheilung annehmen, so lange sie auf dieselbe Stelle des Arms immer in gleicher Weise wieder aufgesetzt wurde, weil ja hier mit gleicher Spannung von Innen her positive Electricität abgestossen wurde, die der gleichnamigen oberflächlichen Spannung gerade das Gleichgewicht hielt. Wohl aber musste sich natürlich positive Electricität von der Oberfläche der Haut dem nur mit sehr kleiner Fläche leise berührenden Electroskop oder auch einem beliebig angelegten Probescheibchen mittheilen, besonders wenn diese Berührung an solchen Stellen geschah, wo überhaupt keine vertheilende Wirkung stattfindet, worauf ich unten eingehen werde. — Es wird nicht der Versicherung bedürfen, dass die eben besprochenen positiven Ladungen durch Mittheilung von der Körperoberfläche an beliebiger Stelle in dieser Weise nur stattfinden, wenn jener mehrfach wiederholte Vertheilungs-

versuch auf dem Isolirschemel in der angegebenen Weise vorausgegangen ist.

Zur weiteren Bestätigung dafür, dass an der Oberfläche der Haut überall eine leitende Schicht vorhanden sein muss, will ich auch noch an die bekannte Thatsache erinnern, dass man mit jeder Stelle der Körperoberfläche einen geladenen Leiter gut entladen kann, also auch mit solchen Hautstellen, an denen sich nach obigen Versuchen ganz sicher und zweifellos eine gut isolirende Schicht befinden muss, durch welche hindurch Influenzwirkung zu Stande kommen kann.

Ich komme endlich zu der letzten Modification des in Rede stehenden Versuchs, welche geeignet ist, alle etwa noch bestehenden Zweifel gegen die Richtigkeit der bisher entwickelten Auffassung zu beseitigen. Es erschien mir nämlich sehr wichtig, wo möglich die vertheilende Wirkung von der unter der Haut befindlichen positiven Electricität zu erhalten und bemerklich zu machen ohne Berührung der Metallscheibe mit der Haut, aus der Ferne, so also, wie man von einer geriebenen Glasstange Vertheilungsladung aus der Ferne bewirkt. — Nun aber ist die Spannung unter der Haut nicht stark genug, um in der gewöhnlichen einfachen Weise bei blosser Annäherung der Scheibe und gleichzeitiger Ableitung derselben auch auf noch so kleine Distanz merklich wirken zu können; es bedarf eines kleinen Kunstgriffs, um diese unmerkliche Wirksamkeit gleichsam durch Multiplication merklich zu machen. Der Kunstgriff besteht in folgender Benutzung des Condensators. Nähert man der obern Scheibe des Condensators einen mit positiver Electricität geladenen Körper, und berührt man gleichzeitig dieselbe Scheibe ableitend, so bildet sich in derselben Ladung mit entgegengesetzter Electricität, also negative Ladung. Wenn nun diese nach Entfernung des die Influenz bewirkenden Körpers, nachdem die Ableitung natürlich schon vorher unterbrochen wurde, sich gleichmässig über die Scheibe ausbreitet, so wirkt sie vertheilend auf die untere Condensatorscheibe, und bei Berührung derselben wird negative Electricität aus der untern Scheibe abgeleitet werden. Nähert man jetzt von Neuem den positiv geladenen Körper der obern Scheibe unter Ableitung derselben, so unterstützt die inzwischen stattgehabte Ladung der untern Scheibe mit positiver Electricität die Einwirkung auf die obere Platte. Wäre in der untern Platte keine Ladung, so würde bei zweiter Annäherung des positiv geladenen Körpers und stets gleicher Wirkung desselben in der obern Platte keine neue Vertheilung stattfinden, sondern nur die schon zuerst freigewordene negative

Electricität wieder gebunden werden. Nun aber hält die positive Ladung der untern Platte einen Theil der negativen Electricität gebunden, und so muss jetzt der genäherte positiv electrische Körper eine gewisse Menge Electricität von Neuem scheiden, um die seiner Spannung entsprechende Menge negativer Electricität in der obern Platte zu binden. Wird jetzt der influencirende Körper wieder entfernt, so muss nun die obere Platte wieder ebenso starke Ladung haben wie nach dem ersten Versuch, trotzdem dass eine gewisse Menge negativer Electricität von der untern Scheibe gebunden wird. Diese Ladung, sich frei ausbreitend über die Scheibe, bewirkt nun ihrerseits wieder Verstärkung der positiven Influenzelectricität in der untern Scheibe, wenn man diese ableitet, und diese Verstärkung schafft abermals Gelegenheit, dass der zum dritten Male genäherte influencirende Körper von Neuem eine gewisse Menge Electricität in der obern Platte trennen kann. Dies lässt sich fortsetzen, bis dass die Influenzladung der obern Scheibe so stark geworden ist, dass sie am Electroskop merklich wird. Es lässt sich auf diese Weise eine an sich schwache Influenzladung ausserordentlich verstärken, so dass eine bei gewöhnlichem Verfahren nicht nachweisbare Vertheilungswirkung sehr deutlich hervortritt.

Auch bei der Haut führt dieses Multiplicationsverfahren zum Ziele. Man stellt einen Condensator mit hinreichend grossen Platten so auf, dass man einigermassen bequem unter eigener Beobachtung des Abstandes den Arm mit der genannten Gegend über die obere oder unter die untere Scheibe halten kann; der Abstand der Armoberfläche von der Scheibe kann etwa 2 Linien betragen. Während man den Arm einer Scheibe angenähert hält, berührt man dieselbe Scheibe mit dem Finger, entfernt diesen, entfernt dann den Arm und berührt darauf die andere Scheibe ableitend, worauf der Arm wieder angenähert wird und dieselben Manipulationen sich wiederholen. Natürlich kann man auch durch einen Gehülfen die Ableitungen vornehmen lassen, wenn dabei kein Irrthum in der Reihenfolge der Manipulationen zu befürchten ist. Hatte ich die Reihe dieser 10 — 15 Male wiederholt, so besassen beide Condensatorscheiben relativ starke Ladungen, die auf Seiten des Arms negative, die andere positive.

Das Verfahren ist überall zu benützen, wo man schwache Influenz vermuthet und nicht unmittelbar nachweisen kann. Dasselbe schliesst sich in gewisser Hinsicht dem Princip des Bennet'schen Duplicators an. Bei diesem theilt man bekanntlich die an sich zu schwache z. B. positive Electricität

zuerst der Collectorplatte A eines Condensators mit unter Ableitung der Condensatorplatte B; dann lässt man die in B nach Entfernung von A vorhandene negative Electricität electrophorisch auf eine dritte Platte C wirken, deren positive Electricität zum Theil dann der Platte A mitgetheilt werden kann, so dass sich deren Ladung verstärkt, während A und B wieder als Condensator combinirt sind, wobei also auch die Influenz auf die Scheibe B verstärkt wird und diese wiederum verstärkt electrophorisch auf C wirken kann u. s. w. Die Stelle der zuerst ein Mal geladenen Collectorplatte A vertritt in unserm Versuch der in Untersuchung gezogene Theil des Körpers, der unter seinem isolirenden Ueberzuge schwach positiv geladen ist; die beiden anderen Scheiben B und C sind in unserm Versuch die beiden Condensatorplatten. Der Unterschied vom Duplicator besteht in unserm Falle darin, dass wir die positive Electricität der Platte C nicht der ursprünglich geladenen, nämlich dem Innern des Körpers, mittheilen können, um dadurch die Verstärkung zu Stande zu bringen, sondern dass wir uns damit begnügen müssen, die positive Spannung in der Scheibe C die negative der Scheibe B zum Theil an der vom Arm abgewendeten Fläche binden zu lassen, so dass der Arm nun von Neuem vertheilend auf B wirken kann. Dieser Unterschied bedingt dann natürlich die Differenz in den Manipulationen.

Jener Versuch nun beweist zur völligen Evidenz, dass es sich um eine vom Arm ausgehende Electricitäts-Vertheilung handelt, und er beweist, was ich oben schon anticipirte, dass wenn auch bei unvorsichtig angestellten Versuchen sich andere Wirkungen einmischen mögen, jene Ladungen beim Aufsetzen der Metallscheibe ohne allen Verdacht angesehen werden können als das Resultat dieser Influenz; auch haben wir damit einen weitern Beweis dafür, dass die Electricität nicht erst in Folge der Manipulation entstanden ist. So viel ich sehe, könnte überhaupt nur noch ein einziger Einwand gegen die Ansicht, dass es sich um thierische Electricität bei den bisherigen Versuchen handelt, gemacht werden: man könnte nämlich vielleicht daran denken, es sei vor der Anstellung des Versuchs Electricität durch die Reibung der Kleidung erzeugt worden und diese sei auf dem Arm zurückgeblieben. Es dürfte jedoch schwer sein, diese Meinung so zu formuliren, dass sie eine befriedigende und mit allen bisher mitgetheilten Einzelheiten harmonirende Erklärung abgeben könnte. Vollends unmöglich aber wird dies sein, sobald ich unten einige weitere Versuchsergebnisse werde mitgetheilt haben. Auch will

ich nicht unterlassen hervorzuheben, dass wenn man den Arm stundenlang entblösst hat, ferner, wenn man alle Kleidung abgelegt hat, der Versuch in ganz gleicher Weise gelingt, wie wenn man unmittelbar vorher den Arm mässig oder kräftig mit der Kleidung gerieben hat; unter Umständen tritt sogar nach kräftigem Reiben der Fall ein, dass der Versuch nicht mehr gelingt oder schlechter gelingt, worauf ich zurückkomme.

Sollte man hier auch etwa daran denken, dass vielleicht etwaige Reste von Reibungselectricität vom Arme zu entfernen sein würden, so habe ich auch einen darauf bezüglichen Versuch angestellt, obwohl er wenig beweist, aber auch nichts zu beweisen braucht: den menschlichen Körper kann man zwar nicht, wie Du Bois bemerkt, durch die Flamme ziehen, wie einen Krystall, um ihm alle etwa anhaftenden Spuren von Electricität zu nehmen, aber man kann ihn wenigstens mittelst guter Leiter oberflächlich zu entladen suchen. Eine durch Reiben electrisirte Siegellackstange wurde beim sanften Eintauchen in abgeleitetes Quecksilber vollständig entladen, ein Versuch, der mit Glas nicht anzustellen ist, weil dieses durch die leiseste Reibung an Quecksilber stark electrisch wird: ich habe auch den Arm sanft unter Quecksilber getaucht: es hatte auf jenen Vertheilungsversuch gar keinen Einfluss. Wie bemerkt, es wird derartiger Argumente nicht bedürfen.

Bevor ich weitere Versuche mittheile noch einen Vergleich, der in der Kürze das Wesen jenes ersten Versuchs bezeichnet. Der Arm (um zunächst noch immer bei der einen Gegend der Körperoberfläche stehen zu bleiben) verhält sich vermöge der unter der Haut fortwährend vorhandenen freien Electricität und vermöge der isolirenden Schicht über derselben wie der Harzkuchen des Electrophors, der Schild des Electrophors ist die aufgesetzte Metallscheibe, die wir jeden Augenblick an unserm eigenen Körper electrophorisch laden können, während noch dazu der Körper selbst für die Ableitung des Schildes sorgt, was beim Electrophor natürlich nicht der Fall sein kann.

Die Fortsetzung der Versuche knüpft sich an die oben gemachte Bemerkung, dass vorgängiges stärkeres Reiben der Haut sogar dem Vertheilungsversuche ungünstig sein kann. Als ich in dem Bemühen, den Verdacht wegen an der Oberfläche erzeugter Reibungselectricität auszuschliessen, die Haut stark frottirt hatte, sei es mit Metallplatten oder scharfkantigen metallischen Körpern oder mit grober Leinwand, bemerkte ich zu meinem anfänglich nicht geringen Erstaunen, dass der gewöhnliche Versuch, die Scheibe beim Aufsetzen zu laden,

nicht mehr gelang, die Scheibe nahm auf diese Weise keine Ladung mehr an, auch dann nicht, wenn sie während des Aufsetzens noch besonders abgeleitet wurde. Dagegen ergab sich, dass jetzt positive Electricität aus der geriebenen Hautpartie ausströmte, so dass positive Ladung durch Mittheilung erhalten werden konnte. Stellte ich mich auf den Isolirschemel und legte ich den Arm mit der geriebenen Stelle auf die obere Condensatorplatte unter guter Ableitung der untern, so nahm die obere Platte positive Ladung an; auch erhielt ich zuweilen auf dem Isolirschemel stehend sofort Anschlagen des Goldblattes an den negativen Pol der trocknen Säule bei Berührung einer auf das Electroskop aufgeschraubten Scheibe. Hier handelte es sich also offenbar um Ladung durch Mittheilung, wie denn auch, um diese Ladungen zu erhalten, die Isolirung des Körpers nöthig war. Anfangs musste ich vermuthen, die Haut sei durch das Reiben electrisch geworden, obwohl ich wusste, dass die Epidermis gewöhnlich negativ electrisch wird und nur äusserst schwach. Aber der in Rede stehende Zustand des Arms hielt an, er blieb zuweilen mehre Tage, und neben der geriebenen Gegend fand das gewöhnliche Verhalten statt. Ich wurde nun aufmerksam darauf, dass bei dem starken Reiben die sehr dünne Epidermis des Arms stellenweise abgerieben war, ich sah kleine Blutpunkte in der Haut, und es lag nun nahe, dass jene dem aufgesetzten Leiter sich mittheilende positive Electricität dieselbe sei, die bei unverletzter Epidermis durch diese isolirt die Influenzladung bewirkt. Als ich mir absichtlich etwas grössere wunde Stellen durch Abschaben der Epidermis am Arm beigebracht hatte, konnte ich am Säulenelectroskop deutlich wahrnehmen, wie vorzugsweise aus diesen wunden Stellen die positive Electricität ausströmte, und gleichzeitig dadurch natürlich die Möglichkeit der Influenzladung in obiger Weise aufgehoben war, sobald nämlich der aufgesetzte Leiter mit den wunden leitenden Stellen in Berührung kam. So lange die wunden Stellen sichtbar sind, sie brauchen nicht merklich feucht, nässend zu sein, so lange findet Leitung aus der Tiefe nach aussen statt. Man kann sich denken, dass auch ein nur oberflächliches Abreiben der isolirenden Hornschicht, ohne wirkliche Verletzung, die Isolirung durch die Epidermis schwächt, die Leitung durch dieselbe verbessert.

Das einfachste Mittel, um die Epidermis leitend zu machen und somit Ausströmen positiver Electricität zu ermöglichen, ist, die Epidermis gehörig zu durchfeuchten. Hat man die Haut mit warmem Wasser gehörig gewaschen, so ist für

längere Zeit das Isolirungsvermögen der Hornschicht aufgehoben, auch wenn man glaubt, sie nachher ganz abgetrocknet zu haben; das Wasser muss eben möglichst eingedrungen sein und nicht nur die Oberfläche benetzt haben. Unmittelbar nach dem Waschen darf man jedoch keinen Versuch am Condensator anstellen wollen, denn man bringt dann zu viel Feuchtigkeit in die Nähe der electroskopischen Vorrichtungen, und die feuchte Umgebung leitet auch vom Arm zu leicht ab. Erst wenn die Haut scheinbar wieder trocken geworden ist, gelingt die Ladung, vorausgesetzt, dass die Befeuchtung nicht zu oberflächlich war, denn dann kann auch alsbald die Isolirung durch die Epidermis wieder vorwaltend werden. Es versteht sich nun auch von selbst, dass man den Vertheilungsversuch an behaarten Körperstellen nicht unmittelbar nach dem Rasiren anstellen kann; gewöhnlich gelingt er erst am Tage nachher, denn zu der Durchfeuchtung gesellt sich hier auch noch das theilweise Abschaben der Epidermis mit dem Messer. Endlich versteht es sich auch von selbst, weshalb bei schwitzender Haut weder der Vertheilungsversuch noch die Ladung durch Mittheilung gelingt; für erstern fehlt die isolirende Schicht und für den andern Versuch ist die den Körper umgebende Feuchtigkeit sowohl nachtheilig für die electroskopischen Apparate als auch eine zu gute Ableitung für die Electricität. Hieran mag es erlaubt sein die Bemerkung zu knüpfen, dass man sich sehr vor selbst nur schwacher Transpiration zu hüten hat, wenn man Versuche bei nacktem Körper anstellt, was bei der aus anderem Grunde dabei gewöhnlich etwas erhöheten Zimmertemperatur doch leicht möglich ist. Fühlt man die Haut feucht werden, so mag man, meiner Erfahrung nach, die Versuche nur sofort abbrechen; man hat dann mit den Wirkungen einer sehr grossen stark verdunstenden Fläche zu kämpfen.

Man müsste es wohl sehr auffallend finden, wenn die Erscheinung, um welche es sich hier bis jetzt gehandelt hat, nicht schon früher beobachtet worden wäre, als so viele Versuche in diesem Gebiete angestellt wurden. Aber es ist in der That fast so, denn unter Allen, welche sich mit thierischer Electricität beschäftigt haben, ist nur ein Einziger, welcher jene Ladung einer auf den Arm gesetzten Metallscheibe gesehen hat, merkwürdiger Weise aber die Wahrnehmung weder deutete noch weiter verfolgte. Sjöstén hat im Jahre 1800 in den Kongl. vetenskaps academiens nya handlingar (T. XX) Beobachtungen bekannt gemacht, die auszugsweise in dem nordischen Archiv für Naturkunde, Arzneiwissenschaft und

Chirurgie von Pfaff, Scheel und Rudolphi, III. Band, 3. Stück, p. 20 mitgetheilt sind. Da diese Beobachtungen um so weniger jetzt bekannt sein werden, als die Angaben Sjösténs Misstrauen erwecken konnten und auch wirklich erweckt haben, doch aber richtig waren und bei weiterer Verfolgung diese Beobachtungen die wichtigsten der in dieses Gebiet gehörigen früheren hätten sein können, so will ich den wesentlichen Inhalt hier anführen.

Sjöstén wollte sehen, wie stark wohl eine mit Goldfirniss überzogene Messingplatte beim Reiben mit der Hand electrisch würde, und als er sehr starke Ladung erhielt, liess er das Reiben ganz nach, legte nur die untere Seite der geballten Hand auf die Scheibe und sah auch jetzt beim raschen Aufheben der Hand Divergenz der mit der Scheibe leitend verbundenen Goldblätter des Electroskops. Dasselbe geschah, wenn er den Arm über dem Ellbogen auf die Scheibe legte und rasch abhob. Die so erhaltene Ladung war stets negativ, oft so stark, dass die Blättchen an das umgebende Glas anschlugen, besonders wenn die Scheibe und der Arm zugleich mit der andern Hand berührt wurden, bevor der Arm von der Scheibe entfernt wurde, was eine bedeutende Verstärkung der Ladung bewirkte. Als Sjöstén den Versuch auf dem Isolirschemel anstellte, fiel die Ladung schwächer aus. Von der flachen Hand erhielt S. nicht leicht Ladung und meist unmerklich. Als nun der Firniss von der Messingscheibe entfernt war, gelang der Versuch überhaupt nur noch beim Auflegen des Arms (nicht der Hand). Absichtliches Reiben mit der Hand oder dem Arm hatte nun keine besondere Wirkung. Auch hatte jetzt nach Entfernung des Firnisses die Berührung der Scheibe und des Arms mit der andern Hand vor Abheben der Scheibe nicht mehr den vorher beobachteten verstärkenden Effect. Auch Sjöstén wollte sich überzeugen, ob nicht vorausgegangene Reibung der Haut mit den Kleidern von Einfluss war, weshalb er sich ganz entkleidete und verschiedene Körpertheile mit Leitern berührte: die Versuche hatten den gleichen Erfolg wie vorher. Alle Bemühungen unter anderen Umständen statt negativer Ladung positive zu erhalten, waren vergeblich. Das Reiben der Haut mit verschiedenen Stoffen hatte sogar Verminderung der electrischen Wirkung zur Folge. Theile, die starke Ausdünstung haben, schienen nicht die geringste Spur von Electricität zu zeigen, wie Hände, Füsse, die Achselgrube, Kniebeuge; aber Waden, Lenden zeigten dasselbe Verhalten wie der Arm. Auch bei mehren anderen Personen fand Sjöstén seine Beobachtungen

bestätigt. Besonders hervorgehoben wird noch, dass der Körper nicht zu warm oder gar schwitzend sein soll und das Electroskop sorgfältig getrocknet sein müsse.

Sehen wir vor der Hand ab von denjenigen unter vorstehenden Angaben, welche sich auf andere Hautpartien, als die Armhaut, beziehen, auf welche ich unten eingehen werde, so erkennt man in allen Angaben wesentlich die Beobachtungen, die ich oben mitgetheilt habe. Auffallender Weise scheint Sjöstén gar keinen Versuch gemacht zu haben, die Erscheinungen zu deuten, zu erklären, und wahrscheinlich ist es dieser Umstand zusammen mit dem, dass Sjöstén einen Theil der Versuche mit gefirnisster Metallscheibe anstellte, welche hauptsächlich Schuld gewesen sind, dass seine Angaben in Misscredit kamen und ziemlich unbeachtet blieben. Es unterliegt nämlich gar keinem Zweifel, dass bei den ersten Versuchen mit gefirnisster Scheibe die Reibung des Harzes mit der Hand eine sehr wesentliche Rolle gespielt hat. Ich selbst habe mich bei Wiederholung solcher Versuche davon überzeugt. Jedenfalls waren alle Versuche mit gefirnisster Platte unrein, nicht bloss, weil auch beim ruhigen Auflegen des Arms Reibung des Harzes stattfinden konnte, sondern auch, weil die ein Mal electrisch gewordene Harzschicht ihre Electricität beibehielt und dadurch in der Metallscheibe ein nach dem Princip des Electrophors im Allgemeinen zu beurtheilender Zustand unterhalten wurde. Ich will in die Analyse der dadurch etwas verwickelten Erscheinungen, bei denen dann auch die gleichzeitige Berührung der Scheibe und des Arms eine Rolle spielen konnte, wie sie Sjöstén beobachtete, nicht näher eingehen, weil es hier kein weiteres Interesse hat und weil ich unten auf einen beim Gebrauch des Condensators zu berücksichtigenden Zustand eingehen werde, nach welchem sich wahrscheinlich Sjöstén's Wahrnehmungen bei gefirnisster Scheibe erklären. Was Sjöstén nach Entfernung des Firnisses beobachtete, stimmt vollständig mit meinen Beobachtungen überein, und hebe ich besonders hervor, dass dann der Versuch mit der Hand nicht mehr gelang, dass jene ableitenden Berührungen der Scheibe und des Arms dann keinen Einfluss mehr hatten, dass vorausgehende Reibung der Haut sogar Verminderung der Ladung zur Folge hatte.

Bezüglich der Entfernung des Firnisses von Metallscheiben, die zu jenen Versuchen gebraucht werden sollen, mag hier beiläufig noch die Bemerkung gestattet sein, dass dies natürlich mit absolutem Alkohol oder Aether je nach der Art des Firnisses vorzunehmen ist und zwar sehr sorgfältig; auch

muss man sich auf diese Weise erst überzeugen, dass neu angefertigte Scheiben nicht gefirnisst sind, denn die Mechaniker sind es so gewohnt, alle Messingarbeit mit Firniss zu überziehen, dass ich wenigstens trotz besondern Auftrags doch stets einen Firnissüberzug erhielt.

Nachdem meine bisherigen Angaben sich speciell nur auf die Gegend des Vorderarms über den Muskelbäuchen bezogen haben, sollen jetzt die übrigen Theile der Körperoberfläche verglichen und zunächst untersucht werden, von welchen Hautpartien unter den gleichen Umständen jene negative Ladung der aufgesetzten Messingscheibe durch Vertheilung zu erhalten ist. — Die Versuchsmethode kann für die meisten Fälle die gleiche sein, wie bisher. Für solche Fälle aber, wo bei nacktem Körper die Luft beginnt feuchter zu werden und für solche, wo aus anderen Gründen die Ladung der Scheibe schwach ausfällt, ist es vorzuziehen, sich einer mit dem Electroskop leitend verbundenen Metallscheibe zu bedienen, so dass beim Abheben derselben von der Haut sofort die etwaige Ladung in die Goldblätter einströmt oder, bei Anwendung des Säulenelectroskops für die Erkennung der schwächsten Wirkungen, dem Blättchen desselben sofort Ladung mitgetheilt wird. Da man aber die meisten Körpertheile nicht etwa auf eine horizontale auf das Electroskop festgeschraubte Scheibe auflegen kann, so verbindet man die mit isolirendem Handgriff versehene Scheibe fest mit einem nicht zu dünnen und auch nicht über Bedarf langen Kupferdraht, dessen anderes Ende am Electroskop festgeschraubt ist. Der Draht gestattet, die Platte überall am Körper aufzusetzen. Man muss aber bei diesem Verfahren sorgfältig auf gute Verbindung, wo möglich mittels Klemmschrauben, achten und vermeiden, dass die Drahtspitzen frei hervorragen, weshalb man dieselben mit einem Knopf von Siegellack versehen kann. Zweckmässig ist es, Messingscheiben von verschiedener Grösse und Form vorräthig zu haben, damit man die Scheibe auf die zu untersuchende Hautpartie immer gut aufsetzen kann.

Alle diejenigen Theile der Körperoberfläche, unter denen grössere Muskelmassen gelegen sind, verhalten sich stets ebenso, wie die als Ausgangspunkt gewählte Gegend über den Muskeln am Vorderarm. Ist die Haut nicht feucht, schwitzend, so erhält man überall negative Ladung der aufgesetzten Scheibe durch Vertheilung. Es gilt hier Alles, was oben für die eine Gegend am Arm ausgeführt wurde. Reibung der Haare ist überall entweder durch die natürlichen Verhältnisse oder durch Rasiren als ausgeschlossen zu betrachten.

Die Stärke der durch Vertheilung von allen jenen Theilen zu erhaltenden negativen Ladungen ist bei gleicher Grösse der zur Wirkung zugelassenen Fläche sehr verschieden. Man bemerkt bei der Prüfung mit ein und derselben Scheibe unter gleichen Umständen Differenzen, welche darauf hinweisen, dass die Stärke der vertheilenden Wirkung von zwei Momenten abhängig ist; zunächst nämlich von der Mächtigkeit der unter der Haut gelegenen Muskelmasse: je dünner diese ist, desto schwächer die Wirkung; zweitens von der Dicke des subcutanen Fettpolsters: je dicker dasselbe ist, desto schwächer ceteris paribus die Wirkung. Starke Wirkung erhält man vom Oberarm, von der Gegend über dem Sternocleidomastoideus, über den Nackenmuskeln, über den Bauchmuskeln, vom Oberschenkel und Unterschenkel, soweit die Muskulatur unter der Haut reicht. Sehr schwache Wirkung nur erhält man über den beiden Bäuchen des M. frontalis, etwas stärkere Wirkung von der Wange; schwache Wirkung von der Vorderfläche des Halses über der Trachea, stärker von der Unterkinngegend; sehr schwache Wirkung von dem Handrücken. Die Gegend über den Glutäen, über den Wadenmuskeln, über dem Pectoralis major in der Mitte gab nicht so starke Wirkung, wie nach der Mächtigkeit der Muskeln hätte erwartet werden müssen, grade diese sind aber mit einem relativ starken Fettpolster (der Pectoralis mit den Resten der Mamma) überzogen.

Von allen Stellen übrigens, unter denen Muskeln liegen, ist die Wirksamkeit wahrnehmbar zu machen, denn da, wo diese an sich sehr schwach ist, z. B. auf der Stirn, auf dem Handrücken, auch auf den ersten Fingergliedern kann man das oben beschriebene Multiplicationsverfahren anwenden, wenn es nicht auf einen Fundamentalversuch ankommen soll, mit unmittelbarem Auflegen der betreffenden Gegend auf die Condensatorscheibe.

Sehr merkwürdig ist das Verhalten derjenigen Theile der Körperoberfläche, unter denen keine Muskeln, dagegen grössere Sehnenmassen liegen. Diese Gegenden wirken nämlich auch vertheilend und zwar meistens zu ebenfalls negativer Influenzladung, welche aber stets bedeutend schwächer ausfällt, als die Ladung von benachbarten Stellen, wo Muskeln liegen; zuweilen sinkt diese Wirksamkeit aber auf Null herab, und zuweilen erhält man über einzelnen grossen Sehnen positive Influenzladung. Dieses letztere Factum ist eines der wichtigsten und merkwürdigsten für unsere Untersuchung. Ich habe mit der grössten Sicherheit, ohne dass irgend ein Irrthum

sich einschleichen konnte, zu wiederholten Malen gesehen, dass die Gegend über der grossen Sehne des Triceps brachii eine Zeitlang ansehnliche positive Ladung durch Vertheilung bewirkte, während gleichzeitig dicht daneben über dem Muskelbauche des Triceps wie immer negative Ladung durch Vertheilung erhalten wurde. Das Gleiche habe ich auch einige Male in der Armbeuge über der Sehne und Apeneurose des Biceps brachii gesehen. Ueber anderen grossen Sehnen sah ich jene umgekehrte Wirksamkeit bisher nicht, sie kommt höchst wahrscheinlich an der Gegend über der Achillessehne und über dem Lig. patellae vor, aber diese Theile habe ich nicht so gewöhnlich, nicht so täglich untersucht, wie die leichter zugängliche Armoberfläche, und selten kommt jene Umkehr nach meinen Wahrnehmungen nur vor. Das Interesse liegt aber zunächst auch hauptsächlich darin, dass es vorkommt, dass die Gegend über einer grossen Sehne sich entgegengesetzt electrisch verhalten kann gegenüber der Gegend über dem Muskelbauch. Niemals kommt über Muskeln eine Umkehr der Wirksamkeit vor, diese Gegenden bewirken stets negative Influenzladung; bei den ausserordentlich zahlreichen Versuchen, die ich angestellt habe, kann ich nicht glauben, dass mir eine hier wirklich vorkommende Umkehr völlig entgangen sein könnte. Bemerken muss ich aber noch, dass, wenn sich die Körper anderer Personen nicht etwa wesentlich anders verhalten sollten, als der meinige, man nicht erwarten darf, jene positive Influenzentladung von der Gegend über Sehnen sogleich bei Anstellung einiger Versuche zu erhalten; zwar kann es sich ja zufällig so treffen, aber bei der Seltenheit des Vorkommens kann man nur bei tagelang fortgesetzter Untersuchung darauf rechnen. Niemals habe ich jene Umkehr über den genannten Sehnen lange anhalten gesehen, gewöhnlich kehrte nach einigen gleich ausfallenden Versuchen das gewöhnliche Verhalten, schwache negative Influenzladung, zurück. Irgend einen Zusammenhang zwischen diesem Wechsel und physiologischen Zustandsveränderungen, physiologischen Processen habe ich nicht wahrnehmen können.

Das zuletzt besprochene Factum der zeitweiligen Umkehr des electrischen Verhaltens ist es, auf welches ich oben verwiesen habe als Beweis, dass nicht daran zu denken ist, als letzten Einwand gegen die von mir entwickelte Deutung etwa die Meinung aufrecht zu erhalten zu suchen, dass es sich um Reste von vor den Versuchen durch Reibung erzeugter Electricität handeln könne. Die Frage, wo die thierische Electricität, um deren Aeusserungen es sich handelt, ihren

Sitz hat und wo dieselbe erzeugt wird, soll erst unten in Ueberlegung gezogen werden.

Sjöstén hat eine kurze Angabe gemacht, welche wahrscheinlich hieher gehört. Ein Mal nämlich sah er, dass ein Individuum beim Auflegen des Arms auf die Metallscheibe (ohne Firniss) positive Ladung derselben bewirkte, während dasselbe Individuum vor und nachher von der gleichen Stelle aus, wie sonst immer, negative Ladung bewirkte. Leider ist auch hier keine nähere Angabe über die Gegend des Arms gemacht. Da ich nun bei so sehr zahlreichen Versuchen über Muskeln niemals positive Influenzladung erhielt, wohl aber zuweilen über Sehnen, so darf ich wohl vermuthen, dass jenes Individuum vielleicht den untern Theil des Vorderarms auflegte, wo die vielen Sehnen zur Hand verlaufen; ich selbst habe zwar von hier aus keine positive Influenzladung erhalten, indessen bei der einzig möglichen Deutung, welche wir für die Erscheinungen unten ableiten werden, wird sich ergeben, dass es wohl möglich ist, dass gewisse individuelle Verschiedenheiten in dieser Beziehung vorkommen.

Es giebt nun endlich auf der Körperoberfläche, soweit sie mit feinbehaarter Haut bekleidet ist, auch einzelne Stellen, unter denen weder Muskeln noch Sehnen liegen; dahin gehört z. B. die Gegend über dem untern Ende des Brustbeins, die Glabella: diese Gegenden verhalten sich der Art nach, wie die Gegenden über Muskeln, aber meistens wirken sie so schwach, dass es kaum nachzuweisen ist.

Ich gehe jetzt über zur Untersuchung des electrischen Verhaltens derjenigen Theile der Körperoberfläche, deren Haut, wie man schon in anderen Beziehungen weiss, eine andere Beschaffenheit hat, als alle bisher berücksichtigten Theile. Diese sind nämlich die Vola manus, die Planta pedis (mit Einbegriff natürlich der Finger und Zehen) und die zu Tage tretenden Theile der Schleimhäute.

Von der innern Hand- und Fussfläche ist niemals vertheilende Wirkung, wie von der übrigen Haut aus, zu erhalten. Dies gilt nicht nur für den Fall, dass diese Hautflächen merklich feucht sind, sondern auch für den Fall, dass man sie absichtlich möglichst getrocknet hat. Auch bei dem Verfahren der Multiplication ist niemals die leiseste Spur von Influenzelectricität zu erhalten. Dem sogleich Mitzutheilenden vorgreifend können wir kurz sagen, dass an den genannten Hautflächen sich im Leben niemals eine so schlecht leitende, eine so gut isolirende Schicht befindet, dass durch dieselbe die Mittheilung von Electricität verhindert wäre. — Ist der

Körper nicht gut isolirt, so ist von der Handfläche und Fusssohle überhaupt an keiner electroskopischen Vorrichtung, auch nicht mit Hülfe des Condensators irgend eine merkliche Wirkung zu erhalten. Dagegen erhält man Ladungen durch Mittheilung aus der Vola und Planta, wenn man auf dem Isolirschemel steht.

Unter günstigen Umständen kann das Goldblättchen des Säulenelectroskops bei Berührung des letztern mit den Fingern vom Isolatorium aus schwache Ladung anzeigen. Für gewöhnlich aber muss man sowohl das Isolatorium, wie den Condensator in seiner gewöhnlichen Anwendungsweise zu Hülfe nehmen. Die Nothwendigkeit der beiden genannten Bedingungen beweist schon zur Genüge, dass es sich um Ladung durch Mittheilung durch ausströmende Electricität handelt.

Hier mögen zunächst einige Bemerkungen gestattet sein bezüglich der Prüfung des Condensators auf Freisein von Fehlerquellen. Nur auf eine, im Allgemeinen zwar längst bekannte Fehlerquelle möchte ich aufmerksam machen, theils weil sie sehr leicht bei häufigem Gebrauch des Condensators auftreten kann, theils weil sie zu einer Erscheinung Veranlassung giebt, bei der möglicherweise auf den ersten Blick die Betheiligung von etwas Physiologischem vermuthet werden könnte.

Bei einem gewöhnlichen Condensator, bestehend aus zwei gefirnissten Scheiben oder aus einer gefirnissten und einer nicht gefirnissten Scheibe, kann ein Zustand vorkommen, bei welchem Folgendes beobachtet wird. Setzt man beide Platten aufeinander und hebt sie wieder ab, so zeigt sich zu keiner Zeit Ladung der Scheiben; wir wollen annehmen, der Condensator sei auf ein Goldblattelectroskop geschraubt, weder beim Aufsetzen, noch beim Abheben divergiren die Goldblätter; höchstens zeigt vielleicht das Säulenelectroskop beim Aufsetzen der obern Platte einen geringen Ausschlag. Wenn aber beide Scheiben gleichzeitig je mit einem Finger einer Hand berührt werden, während sie aufeinander liegen, so zeigen die Goldblätter beim Abheben eine ansehnliche Ladung an, und auch die andere Scheibe ist mit der entgegengesetzten Electricität geladen. Wenn man die Berührung der beiden Scheiben nicht gleichzeitig vornimmt, d. h. die Berührung der einen schon aufgehoben ist, wenn die andere berührt wird, so ist die Wirkung viel schwächer; ebenso ist sie schwächer, wenn man beide Scheiben metallisch nach dem Erdboden hin, jede für sich, ableitet, schwächer auch, wenn man die eine Scheibe mit dem Finger, die andere metallisch,

ohne dass der Körper diese metallische Leitung berührt, ableitet; aber ganz gleichgültig ist es, ob man die gleichzeitige Fingerberührung vornimmt auf dem Isolatorium oder mit dem Erdboden in leitender Verbindung stehend. Nimmt man einen metallischen Leiter mit isolirter Handhabe und berührt damit gleichzeitig beide Scheiben, so pflegt die Wirkung beinahe die gleiche zu sein, wie bei der doppelten Fingerberührung. Letztere aber erweist sich gewöhnlich als das bei weitem Wirksamste, um jene unter Umständen sehr starken Ladungen der Condensatorscheiben zu Stande zu bringen.

Die Erklärung dieser Erscheinung ist folgende. Nehmen wir an, nur die eine Scheibe des Condensators sei mit Firniss überzogen, die andere metallisch. Wenn die Harzschicht der Scheibe A z. B. durch zufälliges Reiben oder Streichen electrisch geworden ist, und zwar negativ an ihrer freien Fläche, so wirkt dies an der zunächst für sich zu denkenden Scheibe electrophorisch auf die die Harzschicht tragende Metallscheibe, deren positive Electricität unter der Harzschicht gebunden, deren negative Electricität abgestossen wird. Eine leise Berührung des Metalls mit irgend einem Leiter nachdem jene Electrisirung des Harzes stattfand, wird diese abgestossene negative Electricität aus der Scheibe abgeleitet haben, und nun ist der Scheibe ohne Weiteres nicht anzumerken, dass sie sich in einem eigenthümlichen electrischen Zustande befindet, genau so wie das Electrophor, dessen electrisirter Harzkuchen vertheilend auf die Form gewirkt hat, deren letzterer abgestossene Electricität abgeleitet wurde. Die negative Electricität des Harzes und die positive des Metalls halten sich gegenseitig gebunden, und dies bewirkt die grosse Dauerhaftigkeit des Zustandes. Dieser Zustand einer der beiden Condensatorscheiben ist es, der zu jenen Erscheinungen Veranlassung giebt. Wird eine metallische Platte B isolirt auf die Scheibe A aufgesetzt, so wirkt die Harzelectricität der Scheibe A vertheilend auf die Scheibe B, wie das Electrophor auf den aufgesetzten Schild. Die positive Electricität der B wird unmittelbar über der Firnissschicht gebunden. Da nun der Abstand der freien electrisirten Oberfläche des Harzes von der untern Fläche der Scheibe B kleiner ist, als die Dicke der Firnissschicht, d. h. als der Abstand der Harzelectricität von der in der untern Platte A bisher gebundenen positiven Electricität, so beschäftigt die positive Electricität der Scheibe B die Harzelectricität jetzt stärker, und die positive Electricität der Scheibe A ist nicht mehr so stark gebunden, wie vorher; es ist also in A eine gewisse Menge freier, ableit-

barer positiver Electricität vorhanden, jedoch ist deren Spannung in der Regel nicht hinreichend, um zwei Goldblätter divergent zu machen, eher zeigt das Säulenelectroskop diese geringe Spannung durch den vorhin erwähnten kleinen Ausschlag an. Die Platte B hat negative Spannung, abgestossene negative Electricität. Wenn man nun beide Platten gleichzeitig mit einem wenig Widerstand bietenden Leiter berührt, so fliesst die negative Electricität von der Scheibe B zu der positiven der Scheibe A, die sich einander anziehen, wodurch ihre Spannung erhöhet wird, herüber und umgekehrt, beide Scheiben werden dadurch entladen. Werden dann die Scheiben von einander getrennt, so wendet sich die Harzelectricität wieder allein ihrer Metallscheibe A zu, findet aber in dieser nicht mehr die gleiche Menge freier positiver Electricität, die sie ursprünglich gebunden hatte, vor, vertheilt daher eine neue Menge Electricität, wobei negative abgestossen wird, die nun z. B. in die an die Scheibe festgeschraubten Goldblätter dringt und diese divergiren lässt. Die andere Scheibe sollte in ihren natürlichen Zustand zurückkehren, wenn die Influenz von Seiten der Harzschicht aufgehoben ist, aber in Folge jener Ableitung ist jetzt positive Electricität im Ueberschuss da, also positive Ladung. Nun ist es ganz begreiflich, weshalb eine nicht gleichzeitige Ableitung beider Scheiben mit einem Leiter oder eine Ableitung mit zwei getrennten Leitern viel geringere Wirkung zu jenen Ladungen hat: durch die Ueberleitung von einer Scheibe zur andern begünstigt man es ganz besonders, dass die in beiden Scheiben nur mit geringer Kraft abgestossenen Electricitäten abgeleitet werden, ist ja doch die Abstossung oder Freilassung der positiven Electricität in der Scheibe A so schwach, dass beim Aufsetzen der Scheibe B die Goldblätter nicht divergiren, und entsprechend schwach ist natürlich auch die Abstossung der negativen Electricität in der Scheibe B. Die gleichzeitige Berührung beider Scheiben mit einem Leiter wirkt hier ebenso, wie wenn man Form und Schild des Electrophors mit der Hand gleichzeitig berührt und den kräftigen Schlag erhält in Folge der gegenseitigen Anziehung der in Schild und Form abgestossenen Electricitäten. Was für den einfacheren Fall, dass nur die eine Scheibe gefirnisst ist, abgeleitet wurde, lässt sich leicht auf den Fall anwenden, wo beide Scheiben gefirnisst und die eine Firnissschicht allein oder vorwiegend electrisch geworden ist. Wenn die Ueberleitung von A zu B erst durch den Boden auf Umwegen vor sich gehen muss, unter Einschaltung grösserer Widerstände, so ist natürlich die Wirkung schwächer; und dass

gerade die beiden Finger einer Hand hier so günstig wirken, meist günstiger als eine nur angelegte metallische Leitung beruhet nur darauf, dass die Finger sich so leicht zu guter Leitung fest anlegen, während eine metallische Leitung, wenn sie nicht festgeschraubt ist, gar leicht bedeutend schlechter sein kann wegen mangelhafter Berührung.

Man hat sich überhaupt bei den jetzt zu erörternden Versuchen am Condensator sorgfältig um gute Ableitung der Condensator-Platte zu bekümmern, sonst können die Versuche darunter sehr leiden. Wenn man die Ableitung nicht festschrauben und am unteren Ende mit einer grossen guten Leitung, z. B. Gasröhren, verbinden kann, so soll man lieber auf dergleichen Ableitungen verzichten und durch den Finger eines Gehülfen ableiten lassen, was wegen der dabei möglichen rascheren Manipulation überhaupt vorzuziehen ist. Ganz zu verwerfen ist es für unsere Versuche, die Condensatorplatte etwa nur durch eine angehängte metallene Kette, wie es für die grossen Spannungen an der Electrisirmaschine genügt, zum Fussboden des Zimmers abzuleiten. Auch auf den Isolirschemel hat man sorgfältig zu achten. Man kann nämlich leicht bei hiehergehörigen Versuchen das bestätigt finden, was Riess angiebt, dass nämlich die isolirenden Stützen des Schemels zuweilen sogar bei gleichem Zustande der Atmosphäre ihr Isolirungsvermögen verändern, ein vorher vortreffliches Isolatorium kann sich ohne genau nachweisbare Ursache bedeutend verschlechtern. Riess giebt an, dass im Einzelnen nicht bekannte, nicht immer angebbare Ursachen Condensirung verschiedener Mengen Wassers aus der Atmosphäre auf den Stützen bedingen. Ich habe mich in solchen Fällen, wo mich das Isolatorium einigermassen im Stiche liess, mit grossem Nutzen ganz neuer, trockner Gummi-Ueberschuhe bedient, nachdem ich mich überzeugt hatte, dass bei der Dehnung derselben sowie bei der unvermeidlichen Reibung durchaus keine die Versuche störende Electricitätsentwickelung stattfand. Doch will ich in dieser Beziehung nicht für jede Sorte von Gummischuhen gut sagen. Bei manchen Versuchen kann man sich der Gummischuhe allein als Isolator bedienen, so gut ist ihr Isolirungsvermögen.

Wenn man, wie es doch meist am bequemsten ist, die obere Scheibe des Condensators als Collectorplatte bei Versuchen mit dem Körper benutzt, so ist natürlich Vorsicht indicirt, dass nicht die Harzschichten durch Reibung oder vielleicht auch Druck electrisch werden. Da man nun eben deshalb bei allen solchen Versuchen stets Zweifel hegen könnte, ob

sich nicht in dieser oder jener Weise Fehler in den Versuch einmischen, so habe ich mich in der letzten Zeit, als mir die Möglichkeit dazu wurde, vorzugsweise des Condensators von Kohlrausch bedient, bei welchem bekanntlich gar kein Harz als Isolator und überhaupt keine feste Zwischenschicht der Scheiben angewendet ist, bei dem vielmehr die beiden Messingscheiben mit rein metallischen Oberflächen durch eine dünne Luftschicht von einander isolirt sind. Diesen Condensator habe ich für die meisten meiner Versuche vortrefflich brauchbar gefunden, und derselbe stand auch bei hinlänglich dünner und überall gleichmässiger isolirender Luftschicht an Empfindlichkeit einem grossen sehr guten gewöhnlichen Condensator durchaus nicht nach. Der besondere Vorzug des Kohlrausch'schen Condensators liegt aber für meine Zwecke in der Sicherheit und Zuverlässigkeit der Resultate. Doch soll damit nicht angedeutet sein, dass man mit einem Volta'schen Condensator bei gehöriger Vorsicht die Erscheinungen nicht ebenfalls sicher beobachten könnte.

Das Verfahren, um die Collectorplatte vom Fuss oder von der Hand aus zu laden, versteht sich von selbst; die Dauer der Berührung braucht nur einige Augenblicke zu sein. Was nun die Beschaffenheit dieser Ladungen betrifft, so sind dieselben sowohl hinsichtlich der Stärke als auch hinsichtlich der Qualität wechselnd. Hand und Fuss, Finger inbegriffen, verhalten sich ganz gleich, doch wird nicht behauptet, dass jene Wechsel etwa immer beide Theile gleichzeitig und gleichmässig betreffen. Ich habe bei mir und bei verschiedenen anderen Personen in den meisten Fällen negative Ladungen der Collectorplatte erhalten, sowie direct, wenn überhaupt, Ausschlag zum positiven Pol des Säulenelectroskops. Daher bezeichne ich vorläufig das Ausströmen negativer Electricität aus der Vola und Planta als das regelmässige Verhalten. Selten, nichtsdestoweniger aber unzweifelhaft, erhielt ich positive Ladungen, was aber gewöhnlich nicht lange andauerte. Im Laufe einer Stunde kann man zuweilen ein doppeltes Umschlagen des Verhaltens beobachten. Ausserdem giebt es auch Zeiten, in denen man gar keine Ladungen erhalten kann, und zwischen diesem Extrem und einem gewissen Maximum, welches für meine Apparate durch die Divergenz der Goldblätter von etwa 20^0 bezeichnet ist, kommen alle Uebergangsstufen vor. Die stärkeren Ladungen, die ich erhielt, waren stets negative. Wurde eine Anzahl Ladungen der Hand rasch nach einander entnommen, so nahm die Stärke derselben gewöhnlich ab. Einen bestimmten Zusammenhang zwischen jenen Quantitäts-

und Qualitätswechseln mit physiologischen Processen habe ich ebensowenig beobachtet, wie zwischen jenen Wechseln und dem Wechsel im Verhalten der Gegend über grossen Sehnen.

Diese Ladungen durch Mittheilung von Hand und Fuss können erhalten werden von der ganzen Volar- und Plantarfläche, soweit die bekannte gereifte Beschaffenheit der Epidermis reicht; ausserdem aber auch vom Rücken der letzten Fingerglieder (Nagelglied). Der Grund, weshalb diese Theile immer Electricität ausströmen lassen, die übrige Haut gewöhnlich nur Influenzwirkung zu Stande kommen lässt, liegt in der verschiedenen Beschaffenheit der Epidermis. Diese ist an der Vola und Planta an und für sich, d. h. ohne Kunsthülfe leitend, am übrigen Körper sehr schlecht leitend, isolirend; der Uebergang zwischen beiden geschieht natürlich allmälig, wie z. B. am Rücken der Finger.

Versuche, wie die vorstehenden, sind in früherer Zeit vielfach angestellt worden, und jedenfalls sind diese es auf unserm Gebiete, welche bisher allein unzweifelhaft die Annahme einer im Körper erzeugten und ausströmenden Electricität rechtfertigten. Denn, obwohl bei den meisten Versuchen, die beschrieben wurden, trotz der grössten Weitläufigkeit oft in anderer Hinsicht gerade die specielle Art und Weise, wie und wo der menschliche Körper mit den electroskopischen Vorrichtungen in Berührung gebracht wurde, nicht genau genug angegeben ist, so kann man doch wohl mit Sicherheit vermuthen, dass es vorzugsweise die Hände, die Finger waren, mit denen Electroskop oder Condensator berührt wurden. Die hieher gehörige Literatur findet sich bei Du Bois*) verzeichnet, sowie auch eine kurze Angabe über den wesentlichen Inhalt der Abhandlungen.

Saussure**) hat offenbar nur oberflächlich einige Versuche angestellt, denn er glaubte schliessen zu müssen, dass die vom menschlichen Körper zu erhaltenden electrischen Wirkungen nur von der Reibung der Kleider mit der Haut herrührten. Möglicherweise war zwar diese Meinung richtig, denn bei stark behaarter trockner Haut können die an der Kleidung sich reibenden Haare starke Wirkungen im Allgemeinen geben. Indessen sah doch Saussure schon, dass zuweilen positive, zuweilen negative Ladungen erhalten werden.

---

*) Untersuchungen über thierische Electricität. I. Band.

**) Lettera del S. d. Saussure, in Landriani, dell' utilita dei conduttori electrici. Milano. 1784. p. 274.

Gardini*) erzählt mit grosser Ausführlichkeit seine Versuche an sich, seinen Schülern und anderen Personen, auch an Thieren, aus denen er den Schluss zieht, dass der gesunde thierische Körper schwach positiv electrisirt sei. Zu diesen Versuchen bediente er sich eines besonderen von ihm construirten Instruments, welches er „Mycroscopium electricum" nannte; leider fehlte in dem mir zur Einsicht stehenden Exemplar des Buches die Tafel, auf der dies vom Erfinder ausserordentlich gerühmte Instrument abgebildet sein muss, und aus der Beschreibung, so weitläufig sie ist, habe ich nicht verstanden, wie das Instrument beschaffen war. Vielleicht liesse sich nach demselben beurtheilen, welcher Art die Beobachtungen waren; ich muss gestehen, dass mir die ganze Beschreibung derselben im Verein mit verschiedenen sonderbaren angeblichen Resultaten (z. B. über Verschwinden oder Umkehr der Electricität nach Castration) nicht den Eindruck von Zuverlässigkeit gemacht haben.

Richtig und sicher beobachtet hat aber ohne Zweifel Hemmer**). Derselbe hat mit grosser Ausdauer seine 486 einzelnen Versuche (deren jeder wieder aus mehren besteht) jeden besonders mit Angabe aller äusseren Umstände erzählt, was jedoch im Ganzen wenig Werth hat, so dass Gren, der in seinem Journal von Hemmer's Untersuchungen Bericht gab***), nur dessen Schlussfolgerungen mittheilte. Hemmer bediente sich eines Volta'schen Condensators, dessen (untere) Condensatorplatte eine 11 Zoll im Durchmesser haltende gut polirte und mit dünner Firnisslage überzogene Marmorplatte, und dessen Collectorplatte eine mit isolirender Handhabe versehene achtzöllige Messingscheibe war. Dieser Condensator wurde vom Isolatorium aus geladen durch kurzes Berühren der Collectorplatte mit dem Finger; die Prüfung geschah an einem Saussure'schen Electrometer. Anderweitige Versuche stellte Hemmer nicht an. Er erhielt Ladungen von 30 Personen verschiedenen Alters und beiderlei Geschlechts. Die Stärke sowohl wie die Qualität der Ladungen war wechselnd. Hemmer erhielt von sich selbst in 2422 einzelnen Versuchen 1252 Male positive, 771 Male negative, 399 Male gar keine Ladung; von seiner Magd aber erhielt er unter 94 Versuchen

---

*) De electrici ignis natura dissertatio. Mantuae. 1792.

**) De electricitate animali, ubi in spontaneam praecipue inquiritur. Historia et commentationes academiae electoralis scientiarum et elegantiorum litterarum Theodoro-Palatinae. Vol. VI. Physic. Mannheim. 1790. p. 119.

***) Journal der Physik. III. Bd. 1791. p. 267.

33 Male negative, 19 Male positive, 42 Male keine Ladung. Auch sah Hemmer, dass während einer Versuchsreihe die Electricität plötzlich sich ändern, oder auf Null herabsinken kann. Hemmer will nun auch einige Beziehungen dieses Wechsels zu besonderen Zuständen oder Vorgängen im Körper beobachtet haben, wovon ich, wie gesagt, bisher Nichts bemerken konnte. Ruhe des Körpers bei nicht zu grosser Abkühlung soll mit positiver Electricität verbunden sein, die Hemmer als die normale betrachtet, negative oder gar keine Electricität soll einen status violentus anzeigen. Es mischen sich in diese Angaben die theoretischen Ansichten des Verfassers ein. Bei Abkühlung des Körpers oder einzelner Theile desselben soll negative Electricität auftreten. Bei plötzlicher heftiger Bewegung sollen ebenso plötzliche Veränderungen in jenem electrischen Verhalten eintreten können. Anhaltende Kopfanstrengung soll die positive Electricität vermehren. Dass bei schwitzender Haut keine Ladungen erhalten werden, giebt auch Hemmer an, ebenso, dass man im Winter stärkere Ladungen, als im Sommer erhält. Darin braucht man Hemmer aber nicht beizustimmen, dass diese Differenzen die Production der thierischen Electricität betreffen, vielmehr sind die die Prüfung beeinträchtigenden äusseren Verhältnisse in Betracht zu ziehen. Dass das Reiben der Haut und der Kleidungsstücke unnöthig sei, um die Ladungen zu erhalten, hebt auch Hemmer hervor, der sich auch mehrmals untersucht hat, während er stundenlang nackend war.

Diesen, wenn auch beschränkten Versuchen Hemmer's gegenüber, sowie denen von Sjöstèn, die oben erwähnt wurden, kann ich dem Urtheil Du Bois' nicht beistimmen, wenn er meint, die unter Pfaff's Leitung gemachte Arbeit von Ahrens*) sei wohl die wichtigste auf diesem Gebiete, weil wahrscheinlich mit den besten Hülfsmitteln und mit allen Vorsichtsmassregeln ausgeführt. Zwar will ich Letzteres nicht bezweifeln, aber die Untersuchung brachte wesentlich gar nichts Neues. Hemmer's Beobachtungen wurden gar nicht erwähnt, wohl aber die gleichen Versuche mit Hülfe des Isolatoriums, des Condensators und des Goldblattelectroskops wiederholt und zwar mit dem gleichen Erfolge. Dass ausser den in dieser Weise zu erhaltenden Condensatorladungen Nichts beobachtet wurde, ist bei dieser Untersuchung sehr auffallend,

*) Ueber die eigenthümliche Electricität des menschlichen Körpers von C. H. Pfaff. Deutsches Archiv für die Physiologie von Meckel. Bd. III. p. 161. (1817).

weil ausdrücklich erwähnt ist, dass zuweilen auch andere Theile des Körpers, ausser der Hand, geprüft wurden, und dass kein Unterschied war, welcher Theil des Körpers geprüft wurde, was so sehr unrichtig ist. Auch Ahrens erhielt positive und negative Ladungen, häufiger positive. Bei Weibern wurden häufiger negative Ladungen erhalten, doch wollte sich der Verfasser über einen derartigen Gegensatz der Geschlechter noch nicht bestimmt aussprechen. Hemmer's Magd gab übrigens auch häufiger negative Ladungen. Dass hier individuelle Verschiedenheiten vorkommen halte ich, wie schon bemerkt, für möglich, an einen Gegensatz der Geschlechter aber wird hier schwerlich zu denken sein. Ich selbst beobachte, wie gesagt, bei mir und auch bei einigen anderen Personen häufiger negative Ladungen aus den Händen. Dass die Ladungen von thierischer Electricität, nicht von der Reibung an der Oberfläche herrühren, behaupten auch Pfaff und Ahrens. Sehr voreilig sind wohl die Angaben über Beziehungen gewisser Krankheiten zu den hier interessirenden Aeusserungen thierischer Electricität, wie sie sich sowohl in früheren Mittheilungen, als auch bei Pfaff und Ahrens finden.

Die letzte in Betracht kommende Untersuchung über unsern Gegenstand wurde von Nasse d. J. in Bonn angestellt, deren Resultate Sterneberg*) mittheilte. Die Methode der Versuche ist nicht mitgetheilt, und somit fehlt das Mittel zur Einsicht, um zu entscheiden, was beobachtet wurde. Nicht einmal ist angegeben, welche Körpertheile geprüft wurden. Da es aber heisst, dass alle Menschen, Gesunde, Kranke, Männer, Weiber, Zeichen von positiver Electricität gaben, die nur fehlten, wenn die Haut feucht war, und da es gleichgültig erschien, ob der Körper isolirt war oder nicht, so vermuthe ich, dass die vertheilende Wirkung von Körpertheilen mit isolirender Epidermis beobachtet wurde. Sterneberg aber erklärte die Electricität, deren Wirkungen Nasse beobachtet hatte, für Reibungselectricität von den Kleidern herstammend, und meinte, dasselbe gelte für die von Pfaff und Ahrens beobachteten Wirkungen.

Aus diesem Ueberblick geht hervor, dass die Versuche Sjösten's und die Untersuchung Hemmer's die wichtigsten unter den früheren waren.

---

*) Experimenta quaedam ad cognoscendam vim electricam nervorum atque sanguinis facta. Dissertation. Bonn. 1834.

Die zu Tage tretenden Theile der Schleimhäute wurden bisher, so scheint es, noch nicht auf ihr electrisches Verhalten untersucht. Ich habe die Lippen- und Mundschleimhaut, die Zunge, die Nasenschleimhaut und die Schleimhaut der Glans penis und des Präputiums untersucht. Dass von diesen so durchfeuchteten Gegenden aus keine vertheilenden Wirkungen erhalten werden, braucht kaum bemerkt zu werden; von ihnen können, wenn überhaupt, Ladungen nur durch Mittheilung erwartet werden. So ist es in der That; wiederum mit Hülfe des Isolatoriums und des Condensators kann man von jenen Schleimhauttheilen Ladungen erhalten. Es ist misslich, diese Theile mit der Collectorplatte eines Condensators in Berührung zu bringen, theils wegen zum Theil nur höchst unvollkommen möglicher Berührung, theils wegen der dabei in zu grosse Nähe gebrachten Feuchtigkeit. Ich schraubte einen in eine Glasröhre eingekitteten Messingdraht, dessen freies Ende in eine Messingkugel auslief, an dem Stiel der einen Scheibe des Kohlrausch'schen Condensators fest; die Kugel, die in ein Nasloch eingeschoben werden konnnte, wurde mit den zu untersuchenden Stellen in Berührung gebracht. Ohne Isolirung des Körpers wurde auch hier, wie bei der Hand und beim Fusse, keine Wirkung erhalten; vom Isolirschemel aus dagegen fast immer ziemlich ansehnliche Ladungen von allen genannten Theilen. Diese waren in der bei weitem überwiegenden Zahl positiv, während ich von Hand und Fuss überwiegend negative Ladungen erhielt. Wechsel zu negativen Ladungen kam auch vor, jedoch seltener, als der entprechende Wechsel an Hand und Fuss. Auch die Stärke der Ladungen wechselte. Wiederum muss ich bemerken, dass keine Beziehung wahrzunehmen war zwischen dem Wechsel im Verhalten der Schleimhäute und dem Wechsel an anderen Gegenden; es kam gleichzeitig posive Ladung aus den Lippen z. B. und negative Ladung aus den Händen vor, aber auch gleiche Ladungen aus beiden.

Was ich von Versuchen über das electrische Verhalten der Oberfläche des lebenden menschlichen Körpers mitzutheilen habe, ist hiermit beendet; die nun zu erörternde Frage ist die, woher die Electricität, deren Spannungswirkungen beobachtet werden, stammt, wo dieselbe erzeugt wird.

Nach Allem, was mitgetheilt wurde, darf es wohl als entschieden bezeichnet werden, dass es sich nicht um an der Oberfläche der Haut zufällig durch Reibung erzeugte Electricität handelt. Ist somit die Annahme gerechtfertigt, dass die Electricität aus dem Innern des Körpers irgend woher stammt,

dass sie unter der grösstentheils isolirenden Hülle der Epidermis erzeugt wird, so ist es für diese Annahme zunächst befriedigend, dass beide Electricitäten am Körper angetroffen werden, gleichviel zunächst, ob die eine oder die andere an bestimmten Theilen des Körpers vorwiegend gefunden wird.

Bei der nun vorzunehmenden Ueberlegung über den Ort im Körper, wo die Electricitäten frei werden, soll zunächst nur die Electricität berücksichtigt werden, welche durch die isolirende Epidermis hindurch an ihren Influenzwirkungen erkannt wird. — Dass ein Theil der Epidermis für diese Versuche die isolirende Schicht bildet, ist oben bewiesen worden; denn nach Entfernung der oberflächlichen Theile der Epidermis ist auch die Isolation aufgehoben. Dieser Schluss stimmt mit dem sonst bekannten Verhalten der Hornschicht überein, während man das feuchte Rete Malpighi, die tieferen Lagen der Epidermis nicht als Isolator würde in Anspruch nehmen können. Ich bin weit davon entfernt, die Hornschicht der Epidermis als einen vollkommenen Isolator, so weit es deren überhaupt giebt, bezeichnen zu wollen; für stärkere Spannungen wird sie sicherlich nur einen schlechten Isolator abgeben; sie ist ein relativ schlechter Leiter, der aber für unsere Versuche, wenigstens gewöhnlich, hinreichend schlecht leitet, um die Rolle eines Isolators übernehmen zu können.

Man könnte fragen, ob vielleicht noch eine andere den Körper überziehende Gewebsschicht bei dieser Isolation behülflich wäre, nämlich die Schicht des Panniculus adiposus, sofern das Fett ein Nichtleiter ist. Obgleich die Erörterung dieser Frage hier der Hauptüberlegung vorgreift, sofern sie statuirt, dass die Electricität unterhalb des Panniculus adiposus entwickelt werde, so wollen wir doch in der Kürze darauf eingehen. Das subcutane Fettgewebe ist von zahlreichen Blutgefässen, Nerven, Bindegewebssträngen durchsetzt, und deshalb wird diese Gewebsschicht immer nur einen schlechten Isolator abgeben können; sie braucht deshalb in dieser Eigenschaft nicht ganz vernachlässigt zu werden, obwohl oben gezeigt ist, dass Entfernung der Epidermis genügt, um die Isolation aufzuheben: da, wo die subcutane Fettschicht sehr stark entwickelt ist, wird sie als ein Leitungshinderniss berücksichtigt werden dürfen, sobald es sich um Electricität handelt, die unterhalb des Fettes erzeugt wird.

Indem wohl Niemand daran denken könnte, chemische Processe in der Epidermis als Electricitätserreger in Anspruch zu nehmen, ist die Epidermis als ganz ausgeschlossen für die Untersuchung anzusehen. Auf die Epidermis folgt das Corium.

In dieser mit Feuchtigkeit durchtränkten Schicht könnte nur an chemische Processe als Electricitätserreger gedacht werden, und es ist bekannt, dass diese Ansicht auch früher wohl ausgesprochen wurde zur Erklärung der an menschlichen Körpern beobachteten Spannungserscheinungen. Viel Wahrscheinlichkeit wird man dieser Ansicht schwerlich zuerkennen, es müsste denn sein, dass in der Haut nicht mehr Electricität erzeugt werden sollte, als vielleicht bei jedem anderen chemischen Process im Körper, in allen Organen. Bei dieser Ansicht aber würde man nicht im Stande sein, jene grossen ganz constanten Differenzen im Verhalten verschiedener Stellen der Körperoberfläche zu erklären, Differenzen theils in der Intensität der electrischen Wirkung, theils in der Qualität. Wollte man sagen, dass die Electricitätsentwickelung in den unter der Haut gelegenen Organen sich mit betheilige bei den Wirkungen nach aussen, und darnach sich jene Differenzen richteten, so heisst das, die Electricitätsentwickelung in solchen tiefer liegenden Organen zur Hauptsache machen, und das ist eben der Schluss, zu welchem diese Ueberlegung auch führen wird.

Zuvor aber ist noch eine Gewebsschicht unter der Haut in Betracht zu ziehen, in welcher möglicherweise Electricität erzeugt werden könnte. Das subcutane Fettgewebe fällt, was die darin vor sich gehenden chemischen Processe betrifft, unter dieselbe Beurtheilung, wie das Corium; dagegen kann das Fett, und zwar speciell auch das Fett des Panniculus adiposus, durch Druck electrisch werden. Man könnte also daran denken, ob nicht vielleicht dieses Fett bei Anstellung der Versuche durch Druck electrisch würde und so jene Erscheinungen veranlasste. Dagegen ist für's Erste einzuwenden, dass zur Electrisirung jenes Fettes ein sehr starker Druck gegen feste Unterlage nothwendig ist, wie er bei den Versuchen nicht ausgeübt wird, und zweitens, dass ja der Versuch aus der Ferne gelingt ohne alle Berührung der Haut. Es bliebe hier also nur noch der Ausweg übrig, anzunehmen, dass die natürliche Spannung, in welcher das Fettgewebe gehalten wird, fortwährend Electrisirung desselben unterhielte; diese Meinung ist aber wiederum unmöglich, weil diese natürliche Spannung viel zu unbedeutend ist gegenüber dem starken Druck, der zur Electrisirung des Fettes nöthig ist.

So führt die Ueberlegung also auf dasjenige zunächst unter der Haut gelegene Gewebe, von welchem es bereits allbekannt ist, dass in ihm fortwährend Electricität erzeugt wird, nämlich die Muskeln. — Die von der Körperoberfläche zu erhaltenden electrischen Spannungswirkungen können, so glaube ich, bei

den bis jetzt vorliegenden Thatsachen nur auf die Electricitätserregung in den Muskeln zurückgeführt werden. — Wenn man von den hier jedenfalls nicht zuerst in Frage kommenden Nerven absieht, so giebt es keine andere bekannte oder mit Wahrscheinlichkeit anzunehmende Electricitätsquelle im Körper, welcher jene Erscheinungen zugeschrieben werden könnten, als die Muskeln. Es ist zu überlegen, wie weit mit diesem Ergebniss der Exclusion die Thatsachen im Einzelnen übereinstimmen.

Hier liegt, so scheint mir, die Sache so, dass sobald eine vielleicht scheinbar grosse Schwierigkeit beseitigt ist, das Uebrige sich ziemlich leicht mit jener Auffassung in Harmonie setzt. Diese erste Schwierigkeit könnte nämlich an und für sich die Vorstellung zu machen scheinen, dass die im Muskel entwickelte Electricität, zu deren Nachweis als Strom, in der abgeleiteten Strömung vom Längsschnitt zum Querschnitt (Sehne) des Muskels, es im Allgemeinen so sehr empfindlicher Instrumente bedarf, überhaupt nur wahrnehmbare geschweige denn relativ so bedeutende Spannungswirkungen geben soll. Man ist gewohnt, die Electricitätserregung im Muskel und Nerven der Electricitätserregung in der Volta'schen Säule zu vergleichen, wie denn ein solcher Vergleich auch am Nächsten lag: angesichts der relativ so schwachen Spannungswirkungen der Säule bei relativ so bedeutenden Stromeffecten müsste es nun auffallen, wenn dem Muskel mit seinen abgeleiteten Strömen von so niederer Ordnung, mit seinen absolut so kleinen Stromeffecten Spannungswirkungen zugeschrieben werden sollen, die relativ so leicht zu erkennen, relativ so bedeutend sind. Die Schwierigkeit, welche hier zu liegen scheinen könnte, ist aber nur so lange vorhanden, als man die Electromotoren im Muskel speciell der Volta'schen Säule vergleicht, und Nichts hindert, diesen Vergleich aufzugeben und den Muskel einem andern physikalischen Apparat analog zu betrachten.

Wenn es richtig ist, dass jene Spannungswirkungen von der Electricität des Muskels herrühren, so wird man sagen müssen, dass bei dieser thierischen Electricitätserregung die Spannungserscheinungen nicht in so bedeutendem Maasse den Stromeffecten nachstehen, wie dies bei der gewöhnlichen Voltaschen Säule der Fall ist, ohne dass damit behauptet ist, es seien die Stromeffecte den Spannungserscheinungen bedeutend untergeordnet. Durch dieses letztgenannte Verhältniss aber ist bekanntermassen die trockene Säule, die sog. Zamboni'sche Säule ausgezeichnet gegenüber der Volta'schen Säule: die Stromeffecte sind schwach, die Spannungswirkungen stark.

Sobald man also den Muskel sich vorstellt in electrischer Beziehung als einen Apparat, dessen Eigenthümlichkeit etwa die Mitte hält zwischen der Volta-Säule und der trockenen Säule, so ist es keinesweges auffallend, wenn jene Spannungswirkungen vom Muskel erhalten werden. Darauf, wie man sich das innere Wesen des Muskels als Electromotor vorstellen will, hat jener Vergleich offenbar zunächst gar keinen Einfluss; ich bin weit davon entfernt, an den bekannten Vorstellungen, die man sich von der Anordnung u. s. w. von mit electrischen Gegensätzen behafteten Molekeln gemacht hat, rütteln zu wollen; die hier mitgetheilten Untersuchungen führen gar nicht so weit in die Theorie hinein. Auch die trockene Säule wird ihre Eigenthümlichkeit in den Erscheinungen stets behalten und dadurch sich von der Volta-Säule unterscheiden, mag auch die Zukunft jeden Zweifel darüber heben, dass die trockene Säule im Princip von der Volta-Säule nicht verschieden sei. Auch für uns kommt es hier nur darauf an, eine Vergleichung, eine Charakteristik nach den Erscheinungen hinzustellen; das Wesen des Muskels als Electromotor, das Princip desselben, wird ohne Zweifel ein Princip besonderer Art sein, welches sich den Principien bekannter Electromotoren wohl nicht unmittelbar anreihen wird.

Steht demnach von vornherein durchaus kein Hinderniss im Wege, der Muskelelectricität merkliche Spannungswirkungen zuzuschreiben, so fragt sich nun weiter, ob die Erscheinungen im Einzelnen jener Annahme nicht widersprechen. Es lehren die vom Muskel zu erhaltenden Stromeffecte, dass der Längsschnitt, die natürliche Oberfläche des Muskels sich positiv verhält, der Querschnitt, dessen Repräsentant die Sehne ist, negativ. Hiermit stimmen die Spannungserscheinungen in so fern zunächst überein, dass die Körperoberfläche über den Muskeln ohne Ausnahme und zu jeder Zeit die negative Electricität anzieht, die positive abstösst, und dass die Intensität dieser Wirkungen im Verhältniss steht zu der Grösse der betreffenden Muskelmasse.

Man könnte nun verlangen als Bedingung für die Richtigkeit meiner Behauptung, dass diejenigen Punkte der Körperoberfläche, unter denen Sehnen gelegen sind, sich entgegengesetzt verhielten, die positive Electricität anziehen müssten. Dies ist, wie oben gesagt, nicht immer der Fall, sogar scheint es selten und nur über einzelnen Sehnen vorzukommen; gewiss aber ist, dass zuweilen jene Bedingung wirklich erfüllt ist, über der Sehne positive Influenzladung, dicht daneben über dem Muskelbauch positive erhalten wird. Dieses Factum halte

ich für so wichtig und für so entschieden der in Rede stehenden Erklärung und zwar nur dieser das Wort redend, dass das wenn auch viel häufigere entgegengesetzte Verhalten der Gegenden über Sehnen zum Aufsuchen einer mit jener Vorstellung vereinbaren Erklärung auffordert, nicht aber sofort ein gegen meine Behauptung sprechendes Moment abgiebt.

Die zur Oberfläche des Muskels gelangende positive Electricität verbreitet sich natürlich von da weiter, so weit leitende Gewebe und Flüssigkeiten sich darbieten und nach Massgabe der verschiedenen Leitungswiderstände auf solchen Wegen. Ebenso wird sich die negative Electricität von der Sehne aus verbreiten, und so wird es durch zahllose den Körper durchfliessende abgeleitete Ströme ausserhalb der Muskeln zur Neutralisirung der im Muskel erzeugten electrischen Gegensätze, so weit sie sich nicht schon im Muskel ausgleichen, kommen. Eine Anzahl solcher Ströme wird unter und in der Haut verlaufen, welche von der Mitte eines Muskelbauches zu dessen Sehne ausgespannt ist, ein Hautstreifen, der einer an einen ausgeschnittenen Muskel angelegten Ableitung, Nebenschliessung vergleichbar ist.

Die Spannungsverhältnisse, die Vertheilung der Spannungen auf einer solchen Nebenschliessung beurtheilen sich nach denselben allgemeinen Gesetzen, wie die Spannungsverhältnisse in dem an die Pole einer Säule angelegten einzigen Schliessungsbogen. Wir können hier für unsern Zweck überhaupt ganz davon absehen, dass die bei Verbindung von Längsschnitt und Querschnitt eines Muskels zu erhaltenden electrischen Wirkungen nur durch Nebenschliessung gewonnen sind, dass der Muskel an sich als eine geschlossene Säule zu betrachten ist; da sich jedenfalls am Längsschnitt des Muskels noch positive, am Querschnitt noch negative Spannung vorfindet, so können wir, da es hier nur auf die Bedingungen zur Ausgleichung dieser Spannungen ankommt, die Sache so ansehen, als wäre die Längsoberfläche des Muskels der positive, der Querschnitt, d. h. das an die Sehne grenzende Ende des Muskels, der negative Pol einer Säule, welche geschlossen ist vermittelst der Sehne und der Haut nebst subcutanem Gewebe.

Wenn der Schliessungsbogen einer Säule auf jedem Querschnitt den gleichen Leitungswiderstand darbietet, d. h. also überall aus dem gleichen Material besteht und überall gleichen Querschnitt hat, so ist bekantlich die Spannung der positiven und negativen Electricität symmetrisch auf den beiden Hälften des Bogen vertheilt, es nehmen dann die beiderlei Spannungen gleichmässig, mit sogenannt gleichem Gefälle von den beiden

Polen her ab bis zur Mitte des Bogens, wo die Spannung Null ist, wo der Indifferenzpunkt liegt. Electroskopische Prüfungen verschiedener Punkte des Bogens ergeben Spannungswirkungen von allen bis auf die Mitte des Bogens, und zwar auf der einen Hälfte von negativer, auf der andern Hälfte von positiver Electricität herrührend, auf beiden Seiten in dem gleichen Verhältniss stärker, je näher dem Pole der Säule. Anders aber gestaltet sich die Sache, wenn die Leitungswiderstände nicht symmetrisch, gleichmässig auf den ganzen Schliessungsbogen vertheilt sind. Dieser Fall kann immer so aufgefasst werden, als ob der Schliessungsbogen aus zwei oder mehren verschiedenen Leitern zusammengesetzt wäre, welche sich entweder durch Differenz des specifischen Leitungswiderstandes, oder durch Differenz des Querschnitts oder durch beiderlei Differenzen zugleich unterscheiden. Dann gilt nach den Ohm'schen Untersuchungen der Satz, dass die Gefälle der Electricitäten, d. h. die Differenz der electrischen Dichtigkeiten zweier um die Einheit der Länge von einander entfernter Punkte jedes einzelnen Leiters, den Widerständen gleicher Länge der Leiter proportional sind, d. h. den specifischen Widerständen der Leiter direct, den Querschnitten umgekehrt proportional sind. Wenn also z. B. der Schliessungsbogen aus zwei Leitern besteht, von denen derjenige, welcher dem negativen Pole anliegt, auf der Längeneinheit den grösseren Leitungswiderstand darbietet (theils wegen grössern specifischen Leitungswiderstandes, theils wegen geringeren Querschnitts), so fällt die Spannung der negativen Electricität vom Pole an in rascherem Verhältnisse steiler ab, und die positive Spannung in entsprechend langsamern Verhältniss, so dass der Indifferenzpunkt nach Seiten des negativen Poles hin verlegt wird. Dieser Indifferenzpunkt, wo gar keine Spannung herrscht, theilt auch jetzt wie bei einem überall gleichen Leiter als Schliessungsbogen die Gesammtsumme der Widerstände des Bogens in zwei gleiche Hälften, da aber die Widerstände ungleichmässig vertheilt sind, so fällt der Halbirungspunkt nicht in die geometrische Mitte des Bogens, sondern in dem Verhältniss näher nach dem einen Pole zu, als auf dieser Seite die Widerstände auf der Längeneinheit diejenigen der Längeneinheit auf Seiten des andern Poles, d. h. in dem zweiten Leiter, übertreffen. Auf diese Weise ist natürlich der Fall leicht denkbar, dass der Indifferenzpunkt sehr nahe dem einen Pol, in unserm Falle dem negativen Pol rückt, und dass also auch bis in grosse Nähe des negativen Poles positive Spannung angetroffen wird. Ebenso ergiebt sich leicht,

dass, wenn etwa die Vertheilung der Leitungswiderstände in dem Schliessungsbogen Veränderungen erleiden könnte mit der Zeit, auch der Indifferenzpunkt, die Grenze der positiven und negativen Spannung entsprechende Verrückungen erleiden würde, und so Punkte, welche das eine Mal positive Spannung zeigen, ein ander Mal negative Spannung zeigen könnten.

Diese Reflexionen lassen sich auf jenen in Betracht zu ziehenden Schliessungsbogen zwischen den beiden Polen des Muskels anwenden. Dieser Schliessungsbogen besteht nämlich wesentlich aus zwei Leitern, wenigstens können wir der Einfachheit halber die Verhältnisse so reduciren; die beiden Leiter sind die Haut und die Sehne. In diesem so zusammengesetzten Bogen sind nun die Widerstände sehr ungleichmässig vertheilt, zwei Momente wirken zusammen, um die Widerstände auf Seiten des negativen Pols, d. i. der Endquerschnitt des Muskels, zu häufen. Der specifische Leitungswiderstand der Sehne ist unter den thierischen Geweben ein sehr beträchtlicher, und es wird sicherlich kein Fehlschluss sein, anzunehmen, dass die Sehne auch schlechter leitet, als die unteren Schichten der Cutis, denn während die Sehne relativ trocken, arm an Blutgefässen ist, ist die Cutis durch ihren grossen Reichthum an Blutgefässen ausgezeichnet. Aber dieses Moment steht nicht allein; vielleicht ist noch höher anzuschlagen, dass die Ableitung am negativen Pol unserer Säule einen sehr kleinen Querschnitt darbietet, während die Ableitung am positiven Pol eine im Verhältniss sehr grosse Fläche darbietet. Dieses eben berührte Moment betrifft streng genommen wesentlich auch unsere Säule selbst, nicht nur den Schliessungsbogen. Der Muskel, so wie wir ihn hier betrachten, ist einer Säule zu vergleichen, deren Querschnitt nicht überall der gleiche ist, der Leitungswiderstand also auch nicht in jedem Querschnitt der gleiche ist; es ist eine Säule, nach deren negativem Pole zu der Querschnitt sehr zusammengedrängt wird, während der positive Pol eine grosse Fläche, eben die Längsoberfläche des Muskels bildet. Wir können uns aber die hieraus erwachsende ungleichmässige Vertheilung der Leitungswiderstände im Muskel selbst und an den Polen reduciren oder reducirt denken auf eine ungleichmässige Vertheilung der Widerstände im Schliessungsbogen, die Säule selbst als überall gleich beschaffen denken und alle Ungleichmässigkeit auf den Schliessungsbogen werfen, wodurch für das hier vorliegende Interesse am Sachverhalt nichts geändert wird. Dann wird die Spannung am negativen Pole selbst grösser anzunehmen sein, als am positiven Pole, aber die Widerstände

häufen sich bei dieser Reduction wiederum auf Seiten des negativen Poles, und dazu kommt endlich noch der geringe Querschnitt der Sehne selbst, so dass im Ganzen ein sehr steiles Abfallen der negativen Spannung gegenüber dem Gefälle der positiven Electricität resultiren wird, und demgemäss der Indifferenzpunkt in der Nähe des negativen Poles seine Lage haben wird.

Somit bietet die Erfahrung keine Schwierigkeit dar, dass über Sehnen positive Spannung, welche negative Influenzladung bewirkt, angetroffen wird. Darf man nun vermuthen, dass irgend eine der Leitungsbedingungen, die gewiss zahlreich sind, oder mehre derselben veränderlich sind, so würde sich auch jener Wechsel erklären, welcher im Verhalten der über einigen Sehnen gelegenen Gegenden vorkommt, denn dieser Wechsel zu negativer Spannung setzt, so scheint es, voraus, dass die Lage des Indifferenzpunktes veränderlich ist. Wenn man aber bedenkt, auf wie vielen verschiedenen einzelnen Leitungswegen die Ausgleichung der electrischen Gegensätze von den Polen des Muskels aus stattfinden kann, so wird man wohl jedenfalls eine Veränderlichkeit in den Leitungsverhältnissen im lebenden Körper von vorn herein für möglich und wahrscheinlich halten dürfen, und dann auch wohl eine Veränderung von der Art, dass daraus für jene eine uns interessirende Leitungsbahn durch die Haut eine Veränderung der Lage des Indifferenzpunktes resultiren kann.

Näher in's Einzelne hierüber einzugehen ist zur Zeit nicht möglich, weil die Momente, die zu berücksichtigen sein würden, unübersehbar sind. Die Lücke in meiner Entwicklung an dieser Stelle erkenne ich vollkommen; gewiss werden weitere Untersuchungen Thatsachen liefern können, durch deren Verwerthung diese Lücke auszufüllen ist.

Auch mit Rücksicht auf die zweite Art von Spannungswirkungen, welche von der Körperoberfläche zu erhalten sind, nämlich die Ladungen durch Mittheilung von Hand und Fuss, so wie von den Schleimhäuten muss eine Veränderlickheit in den Leitungsbedingungen im Körper auf diesen und jenen Leitungswegen statuirt werden. Denn dass man geneigt sein wird, diese Wirkungen auf die gleiche allgemeine Ursache zurückzuführen, auf welche man die vertheilenden Wirkungen an der übrigen Körperoberfläche zurückführen will, glaube ich voraussetzen zu dürfen. Dann also ist anzunehmen, dass die von den genannten Theilen abgeleiteten Ladungen auch solchen Leitungsbahnen, wie sie zahllos im Körper zu denken sind, zwischen den electrischen Gegensätzen der Muskeln entnommen

sind, bei welcher Ableitung man bald auf Seiten der negativen Spannung, bald auf Seiten der positiven Spannung sich befindet, bald auch so nahe dem Indifferenzpunkte, dass die Spannung zu gering ist, um eine merkliche Wirkung zu geben. An Hand und Fuss würde man sich nach den Beobachtungen an mir selbst häufiger auf Seiten der negativen Spannung befinden, an den Schleimhäuten häufiger auf Seiten der positiven; sobald aber hierin eine Veränderlichkeit bei ein und demselben Individuum statuirt werden darf, so hat auch die Vorstellung keine Schwierigkeit, dass verschiedene Individuen sich darin nicht ganz gleich verhalten, wie denn die Einen, so scheint es, häufiger positive Ladungen aus der Hand geben.

Als absolut constant werden wir bei der entwickelten Auffassung nur zu erwarten haben, dass über den Muskelbäuchen stets negative Influenzladung oder bei hergestellter Leitung der Epidermis positive Ladung durch Mittheilung erhalten wird, und in der That ist dies nach Sjöstén's und meinen viele Individuen betreffenden Untersuchungen der Fall.

Endlich hebe ich noch einen schon oben kurz erwähnten Umstand hervor als Argument, welches sehr entschieden für die Zurückführung der Spannungserscheinungen auf die Electricität des Muskels spricht; dies ist die ganz constante Verschiedenheit in der Stärke der Influenzladungen je nach der Mächtigkeit der unter der Haut gelegenen Muskelmassen, für die es keiner besondern Erklärung weiter bedürfen wird. Beobachtungen, welche, wie oben bemerkt, darauf hinzudeuten scheinen, dass die Intensität der Wirkung über einem Muskel abgeschwächt werden kann durch ein stark entwickeltes subcutanes Fettpolster, sind leicht verständlich: das Fett wirkt, wenn es auch von Leitern durchsetzt ist, und nicht vollkommen isolirt, jedenfalls dahin, den isolirenden Abstand zwischen der gespannten Electricität und dem derselben zur Vertheilung dargebotenen Leiter zu vergrössern und somit die Einwirkung zu schwächen. Dieser Umstand wird auch bei Untersuchung von Individuen mit starker Fettentwicklung zu beachten sein.

Dass ich bei der Untersuchung über die Quelle jener Electricitäten, deren Spannungswirkungen beobachtet werden, nur von den Muskeln geredet und von den Nerven geschwiegen habe, ist nicht so auszulegen, als ob ich es für unmöglich hielte, dass die Electricität der Nerven auch betheiligt sei bei jenen Wirkungen; im Gegentheil, man wird die Electricitätserregung im Nerven für wesentlich gleichartig halten dürfen mit der im Muskel und somit es auch im Allgemeinen für möglich halten, dass auch von der Nervenelectricität merkliche

Spannungswirkungen zu erhalten sind. Da ich aber wenigstens keine sichere Beobachtungen bis jetzt anführen kann, welche die etwaige Wirksamkeit der Nervenelectricität gesondert zur Anschauung brächten, so habe ich bei den Schlussfolgerungen die Nerven unbeachtet gelassen.

Es ensteht jetzt die Frage, ob sich nicht weitere Versuche anstellen lassen, um daran ferner die Richtigkeit der Behauptung zu prüfen, dass jene Spannungswirkungen von der Muskelelectricität ausgehen. Die Möglichkeit, solche Versuche anzustellen, ist viel geringer, als es vielleicht auf den ersten Blick scheinen könnte. Ich habe Verschiedenes versucht, bin aber nicht zum Ziele gelangt, sofern ich kein Versuchsverfahren auffinden konnte, welches nicht mit den grössten Fehlern unvermeidlich behaftet wäre. Sämmtliche Säugethiere und Vögel sind zu electroskopischen Untersuchungen durchaus unbrauchbar, weil der Pelz und die Federn bei der leisesten Reibung, die bei lebenden Thieren natürlich nicht auszuschliessen ist, so stark electrisch werden, dass die daraus resultirenden Wirkungen jene, auf die es ankommen soll, ganz verdecken. Allerdings ist nun die Beseitigung dieser grossen Electricitätsquelle möglich: man kann das Thier baden, den Pelz durchfeuchten, doch ist dann selbstverständlich keine electroskopische Untersuchung mehr möglich; und ob das Rasiren bei Thieren so vollständig ausführbar ist, wie es nöthig wäre, um so das Versuchshinderniss zu beseitigen, bezweifle ich: ich selbst habe diesen Weg nicht versucht, weil ich zu wenig Zutrauen dazu habe. Die übrigen Wirbelthiere, Fische, Amphibien, sind theils wegen der feuchten Körperoberfläche, theils wegen zu geringer Grösse für jene Versuche gleichfalls unbrauchbar. Der Mensch ist vermöge seiner trocknen wenig behaarten Haut das einzige Thier, an welchem obige electroskopische Untersuchungen angestellt werden können. Versuche an blossgelegten Muskeln sind bei Thieren aus den gleichen Gründen, wie oben, unausführbar, und ob dieselben etwa beim Menschen trotz der Feuchtigkeit und anderer Schwierigkeiten, ein Resultat geben, weiss ich nicht, da ich keine Gelegenheit hatte, solche Versuche anzustellen, zu denen unter Beobachtung mancher Vorsichtsmassregeln frisch amputirte Gliedmassen benutzt werden könnten.

Es bleibt somit nur noch ein Object für die electroskopische Untersuchung übrig, wenn die Versuche am lebenden menschlichen Körper beendet sind, nämlich die Leiche.

Es kann von vorn herein auffallend erscheinen, dass die Leiche in dieser Untersuchung überhaupt als Untersuchungs-

object in Frage gebracht wird; man könnte der Meinung sein, dass, wenn an der Leiche, wenigstens sobald sie nicht mehr ganz frisch ist, irgend eine der Erscheinungen noch zu beobachten ist, welche vom lebenden Körper erhalten werden, dies ein Beweis sei, dass jene Erscheinungen nicht in das Gebiet der Physiologie gehören würden. Ich selbst war anfänglich auch dieser Meinung und zog daher auch gleich bei Beginn meiner Untersuchungen die Leiche zu Rathe und wurde durch das, was ich hier sah, für eine Weile abgeschreckt, die Untersuchung am Lebenden fortzusetzen. Denn keineswegs waren an der Leiche alle jene electrischen Erscheinungen völlig verschwunden, und somit glaubte ich nicht zweifeln zu dürfen, dass es sich um irgend welche rein zufällige, künstliche Electricitätsentwicklung überhaupt nur handeln müsse. Bei genauerer Betrachtung aber dessen, was die Leiche darbot, schien es doch geboten, von der Untersuchung am Lebenden nicht sogleich abzustehen, um wenigstens über die Berechtigung jenes Schlusses ein für alle Mal völlig in's Klare zu kommen. Nun entwickelten sich nach und nach die Erscheinungen am lebenden Körper zu dem Bilde, welches ich oben zu schildern versucht habe, und während von dieser Seite her die Ueberzeugung mehr und mehr Boden gewinnen musste, dass es sich dennoch um Aeusserungen thierischer Electricität handle, musste anderseits das Vorurtheil weichen, als ob die Möglichkeit, von der Leiche auch noch Spuren ähnlicher Wirkungen zu erhalten, ohne Weiteres ein Criterium für den nicht physiologischen Ursprung jener Electricität sei.

Indem ich aber zunächst zu den Versuchen selbst übergehen will, sind ein Paar Worte über die Art derselben vorauszuschicken. Ich habe meistens nur abgeschnittene Leichentheile, Arme, untersucht: dies hatte seinen Grund hauptsächlich darin, dass ich im physiologischen Laboratorium nicht über ganze Leichen zu verfügen hatte, und eine Untersuchung im anatomischen Präparirsaal oder im Spital auf das Hinderniss stösst, dass man meistens dort die electroskopischen Vorrichtungen nicht gebrauchen kann, die für die Untersuchung an Leichen wo möglich noch empfindlicher sein müssen, als für die Untersuchung am Lebenden, da es sich um weit schwächere Wirkungen handelt. Nach einem Transport der Instrumente aus dem warmen Zimmer, sogar über die Strasse können dieselben nicht sofort gebraucht werden, und jene Localitäten sind an sich nicht eben geeignet dazu. Die Extremitäten, die ich im physiologischen Laboratorium in derselben Weise, wie den lebenden Körper untersuchte, wurden

vorher am Ofen soweit durchgewärmt, dass sie sich etwa wie lebende Theile anfühlten; bei stärkerer Behaarung wurde die Haut rasirt.

Setzt man unter den von den Versuchen am lebenden Körper bekannten Vorsichtsmassregeln die ungefirnisste Metallplatte mit isolirender Handhabe auf die Haut des Leichenarms, so erhält man in der Regel schwache negative Ladung der Scheibe. Dass diese Ladung auf dieselbe Weise zu Stande kommt, wie die bei entsprechendem Versuch am Lebenden, kann nach meinen Untersuchungen keinem Zweifel unterliegen; der Leichenarm wirkt also der Art nach ebenso, wie der Arm des Lebenden, nur sind die Wirkungen gewöhnlich bedeutend schwächer. Diejenigen Gegenden der Oberfläche, von denen aus die Wirkung am leichtesten relativ am stärksten zu erhalten ist, sind diejenigen, welche auch am lebenden Körper die stärksten Wirkungen geben, und die Gegenden, von denen aus im Leben schwache Wirkung oder zu Zeiten gar keine erhalten wird, sind wirkungslos an der Leiche. Die Gegend über Sehnen hat mir an der Leiche nie etwas Besonderes gezeigt. Ladungen aus der Volarseite der Hand und Finger habe ich an dem wohlisolirten Leichenarm niemals erhalten. Trotzdem ist nicht zu verkennen; dass an der Leiche ein kleiner Rest desselben electrischen Verhaltens vorhanden ist, welches der lebende Körper zeigt.

Bemerkenswerth ist nun aber, dass von denjenigen Theilen der Hautoberfläche, welche der Amputationsfläche nahe liegen, bedeutend schwächere oder gar keine Wirkung erhalten wird, während entferntere Stellen wirksam gefunden werden, und hieran schliesst sich die folgende wiederholt gemachte Beobachtung. Präparirt man ein Stück Haut, grösser als die zum Versuch dienende Messingscheibe, ab, über welcher und in deren Umgebung vorher die Influenzwirkung erhalten wurde, so zeigt dieses Hautstück gewöhnlich gar keine Wirkung mehr oder es erfolgt wohl zuweilen noch ein Mal ganz schwache Ladung der aufgesetzten Scheibe, wobei es nicht gleichgültig zu sein schien, ob die untere Fläche des Hautstückes bei der Präparation vielfach mit nicht isolirten Leitern in Berührung kam, und ob das Hautstück dann auf eine isolirende oder auf leitende Unterlage gelegt wurde. Die der angelegten Hautwunde benachbarten Gegenden der Armoberfläche waren jetzt wirkungslos und die durch die Wunde freigelegte Partie zeigte auch niemals electroskopische Wirkungen. Auch kleine Hautschnitte am Leichenarm haben diese Folge, dass in der Umgebung keine Influenzwirkung mehr stattfindet.

Bei fettreichen Leichen hat man sich davor zu hüten, dass bei der Untersuchung eines mit dem subcutanen Fett abpräparirten Hautstückes auf harter Unterlage kein zu starker Druck ausgeübt wird wegen möglicher Electrisirung des Fettes. Abgesehen von diesem Umstande pflegen fettreichere Leichen die in Rede stehende schwache Wirksamkeit deutlicher zu zeigen, als magere, dünnhäutige Leichen. Ist die Haut an mehren Stellen eingeschnitten oder stellenweise abpräparirt, so verliert der Theil seine electrische Wirksamkeit bald gänzlich.

Dies ist in Kurzem, was ich an Leichen beobachtet habe, und ich glaube, dass sich die Erscheinungen dahin deuten lassen, dass ein Rest der im Leben erzeugten Electricität sich innerhalb des im Ganzen schlecht leitenden Körpers, vielleicht in einzelnen Geweben vorzugsweise noch nach dem Tode erhält, erst sehr allmälig abgeleitet wird. Dass die Electricitätszerstreuung durch die Haut hindurch nicht rasch vor sich geht, kann nicht auffallen, wenn man das bedeutende Isolirungsvermögen der nicht schwitzenden Haut des Lebenden kennt. Unter der Haut kann die Ausgleichung von Spannungen, wie sie im Körper in den Muskeln erzeugt werden, auch nach dem Tode nicht so leicht und rasch erfolgen, weil ja vom lebenden Körper Spannungswirkungen erhalten werden, welche auf absolut bedeutende Leitungswiderstände deuten. Hört nach dem Tode die Electricitätsentwickelung auf, so nehmen in Folge dessen die Spannungen ab, und damit auch die Ueberwindung der Leitungswiderstände, so dass schwache Ladungen, vielleicht nur einzelner schlecht leitender Gewebe übrig bleiben. Auffallend könnte es erscheinen, dass aus der Amputationsfläche diese übrig gebliebenen schwachen Ladungen nicht rascher zerstreut werden. Indessen diese Fläche wirkt, so scheint es, deutlich in diesem Sinne, so fern in ihrer Nähe bedeutend schwächere oder gar keine Ladung unter der Haut angetroffen wird, und ebenso wirken, wie angeführt, neu angelegte Hautschnitte und offene Stellen: sie entziehen der nächsten Umgebung ihre Ladung, nicht aber sofort der ganzen Extremität. Dies erklärt sich wie das Uebrigbleiben von schwachen Ladungen im Körper nach dem Tode überhaupt aus der geringen Leitungsfähigkeit, die mit dem Wasserverlust nach dem Tode und dem Coaguliren des Blutes noch abnehmen muss. Der Körper nähert sich in dieser Beziehung einem schwach electrisirten Nichtleiter, dem man seine Electricität auch gleichsam Punkt für Punkt der Oberfläche entziehen muss. Ich behaupte nicht, dass die Electricität, deren Wirkung an der Leiche beobachtet wird, etwa noch an dem Muskel, in dem sie erzeugt

wurde, hafte, dass dieser noch seine electrischen Gegensätze bewahrt habe; vielmehr glaube ich, dass jene schwachen im Tode übrig bleibenden Ladungen in solchen Geweben wahrscheinlich enthalten sind, welche schlechter leiten, als der Muskel, vielleicht ist es die Haut, das subcutane Fettgewebe allein, in welchem die Ladung steckt, wofür jene Erfahrung spricht, dass ein nicht allzu viel ableitend berührtes, mit dem subcutanen Fett abpräparirtes Hautstück zuweilen noch Influenzwirkung giebt. Ich befinde mich demnach mit meiner Erklärung durchaus nicht im Widerspruch zu der Erfahrung, dass der Muskel einer Leiche keine electrischen Gegensätze bei der Prüfung am Galvanometer zeigt. (?)

Es ist zu erwarten, dass im Allgemeinen, je frischer die Leiche ist, desto stärkere Spannungswirkungen erhalten werden; da indessen bei solchen Vergleichungen mancherlei Umstände in Betracht kommen, so nimmt man die Vergleichung am besten bei einer Leiche vor, die von Zeit zu Zeit untersucht wird unter möglichster Bewahrung gleicher äusserer Umstände; dass die Vergleichung so ausfällt, wie zu erwarten ist, habe ich an abgeschnittenen Leichentheilen wenigstens mehrfach gesehen.

Es entsteht somit keine besondere Schwierigkeit, die an der Leiche zu beobachtenden Erscheinungen eben dahin zurückzuführen, wohin sich die am lebenden Körper wahrnehmbaren Erscheinungen reduciren lassen, und zwar tragen die aus jenen ableitbaren Schlüsse dazu bei, die Charakteristik des thierischen Leibes in electrischer Beziehung, bezüglich der Leitungsverhältnisse, wie sie sich aus den Beobachtungen am Lebenden ergiebt, zu vervollständigen, ohne dass irgendwo ein Widerspruch aufträte.

Es sind hinsichtlich der von der Leiche zu erhaltenden electrischen Wirkung nur drei Auffassungsweisen möglich: entweder man hält dieselbe für etwas durchaus Verschiedenes von den Erscheinungen am Lebenden, oder man hält dieselbe für einen Rest dieser Erscheinungen und schliesst dann entweder, dass beiderlei Erscheinungen, am Lebenden und an der Leiche, ihren Ursprung in thierischer Electricität haben, oder dass beiderlei Erscheinungen gar nicht in das Gebiet der Physiologie gehören, nicht von thierischer Electricität herrühren. Die erstere dieser Auffassungsweisen ist deshalb nicht möglich, weil die Erscheinung an der Leiche, abgesehen von der Intensität, durchaus die gleiche ist, wie die entsprechende am Lebenden, und weil keine andere nächste Ursache ausser der, auf welche ich die Erscheinung zurückgeführt habe, ausfindig zu machen ist. Stammen die Erscheinungen am Lebenden

und an der Leiche aber von der gleichen Ursache her, so verweisen dieselben Gründe, aus welchen wir oben die Erscheinungen am lebenden Körper einer thierischen Electricität, und zwar der bereits anderweitig bekannten Muskelelectricität zugeschrieben haben, damit auch das, was an der Leiche noch zu beobachten ist, in das gleiche Gebiet.

Ich will schliesslich hier noch kurz jener zum Theil verbürgten, zum Theil unverbürgten Angaben gedenken über aussergewöhnlich starke electrische Spannungswirkungen, welche einzelne Menschen von sich gegeben haben sollen. Ganz abgesehen davon, ob die Erzählungen immer überhaupt oder in den Einzelheiten Glauben verdienen, gehört ein grosser Theil derselben in so fern gar nicht hieher, als es sich dabei nur um aussergewöhnlich starke Electrisirung der Haare und Epidermis durch Reiben handelt. Zwar haben solche Fälle auch ihr besonderes Interesse, weil besondere Bedingungen vorhanden sein müssen, welche diese starke Electrisirung zu Stande kommen lassen an Theilen, welche gewöhnlich für nicht sehr feine Prüfungsmittel kaum merklich electrisch werden, wie die Epidermis und die feinen Haare auf dem Körper.

Mehr Interesse würden aber solche Fälle in Anspruch nehmen, in denen es sich ebenfalls um starke electrische Entladungen vom Körper aus handelt, ohne dass dieselben auf Reibungselectricität zurückgeführt werden könnten. Bis jetzt aber ist in keinem unter den vielen Fällen, die erzählt werden, eine gründliche wissenschaftliche Untersuchung vorgenommen worden. Da unter der Haut jedes gesunden Menschen sich stets eine gewisse electrische Spannung vorfindet, jeder Mensch an seinem Körper gleichsam ein zur Ladung stets bereites Electrophor mit sich trägt, so kann von vornherein wohl nicht die Möglichkeit geleugnet werden, dass unter Umständen, theils äusseren, theils inneren, die electrische Wirksamkeit des Körpers aussergewöhnlich gesteigert sein kann. Ob eine solche Steigerung aber jemals den Grad erreichen könne, dass sich hieraus derartige Wirkungen erklären liessen, wie sie von manchen electrischen Menschen erzählt werden, darüber lässt sich ohne Untersuchung natürlich gar Nichts sagen.

Ein äusseres Moment, welches ohne Zweifel die electrischen Spannungen unter der Haut steigern kann, ist grosse Trockenheit der Atmosphäre, und in dieser Hinsicht ist es von Interesse, dass in Nordamerika, wie es scheint, am häufigsten dergleichen electrische Menschen vorkommen, obwohl natürlich das genannte Moment auch günstig sein muss einer Erzeugung von Reibungselectricität an der Körperoberfläche. Der Fall, welcher, wie

auch Du Bois hervorgehoben hat, unter den erzählten der interessanteste und der relativ bestverbürgte genannt werden muss, ist der von einer electrischen Dame in Orford in den vereinigten Staaten.*) Genauere Untersuchungen fehlen aber leider auch hier. Der Reisende J. G. Kohl war mündlicher Mittheilung zufolge in Nordamerika selbst mehrfach Zeuge von ähnlichen electrischen Wirkungen einzelner Menschen, wie sie die Dame in Orford von sich gab. Den Physiologen in Amerika fällt die Aufgabe zu, solche Fälle in Zukunft einer wissenschaftlichen Untersuchung zu unterziehen.

*) Du Bois, Thierische Electricität. I. p. 19.

Zur Histologie des Bindegewebsknochen.

Von

Sigmund Lessing.

(Hierzu Tafel VII. u. VIII.)

Die ursprüngliche Veranlassung zu dieser Untersuchung gab eine verknöcherte Achillessehne, welche zufällig vorigen Sommer im Operations-Cursus an einer Leiche gefunden wurde; die Verknöcherung war offenbar nach einer Ruptur dieser Sehne entstanden. Ich wusste, dass sich bei Vögeln im normalen Zustande an der unteren Extremität verknöcherte Sehnen finden; die Untersuchung dieser typischen Verknöcherung wollte ich der pathologischen vorausgehen lassen, um nachher durch den Vergleich beider Arten von Verknöcherungen den eigentlichen Process der Ossification im Gewebe der Sehnen sicherer und richtiger beurtheilen zu können. Ich benutzte hauptsächlich Hühnersehnen zu meiner Untersuchung, da diese mir am leichtesten zur Verfügung standen, jedoch verfehlte ich nicht, auch die andrer Vögelarten durchzugehen, um mir ein allgemeineres Urtheil bilden zu können.

Meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Hofrath Henle, sage ich hiermit öffentlich meinen aufrichtigsten Dank für die freundliche Hülfe und den fördernden Rath bei meiner Arbeit, die hier so erscheint, wie sie Ende Januars der medizinischen Facultät in Göttingen als Inauguraldissertation vorgelegt wurde.

Die Sehnen des Huhnes, von deren Verknöcherung wir sprechen werden, liegen zwischen dem Fusswurzelgelenk und dem der ersten Phalange, also in der ganzen Länge des Metatarsalknochen des Hühnerfusses. Auf Ursprung, Verlauf und Insertion der Muskeln, denen diese Sehnen angehören,

habe ich hier nicht weiter einzugehen, ihre Namen werde ich später kurz zusammenstellen. Die Verknöcherung scheint, nach den von mir untersuchten Hühnerbeinen zu urtheilen, in der Continuität der Sehnen allmälig und ungleichmässig von unten nach oben aufzusteigen; ungleichmässig in der Art, dass die Verknöcherungslinie nicht immer eine mathematisch grade durch den Längsverlauf der Sehne bildet, sondern oftmals zungenförmig in eine Spitze auslaufend sich schräg weiter nach oben erstreckt, so dass die eine Hälfte der Sehne eine Strecke weit schon verknöchert ist, während die andere noch normale Textur zeigt. Solche Partien eignen sich vorzüglich, um durch Ein Präparat einen Querschnitt zum Vergleich zwischen Knochen- und Sehnengewebe darzustellen.

Die Verknöcherung erreicht beiderseits die erwähnten Gelenke nicht, in ihrer Nähe hört sie auf; unmittelbar über, unter oder auf den Gelenken habe ich nie auch nur eine Andeutung von Verknöcherung gefunden. Dies Verhältniss ist durch die physikalisch-physiologischen Gesetze bedingt, nach denen die Muskeln zu wirken haben. Die verknöcherte Partie kann und muss sich bei allen Bewegungen ganz passiv verhalten; wo eine Action oder wenigstens Nachgiebigkeit der Sehne nothwendig ist, finden wir früh genug normales Sehnengewebe. Auf den Gelenken würde eine Verknöcherung der Sehnen zu ihrer eignen Fraktur führen; jenseits der Gelenke bis zur Insertionsstelle würde sie die Wirkung des ganzen Muskels beschränken oder gänzlich aufheben.

Dürfen also in dieser Strecke die Hühnersehnen ohne Functionsstörungen und ohne pathologische Folgen verknöchern, so unterstützt, dass sie es können, der Umstand, dessen Fehlen bei Vorhandensein von Bindegewebe, welches zur Verknöcherung bestimmt ist oder inklinirt, die Bildung falscher Gelenke verursacht; es ist dies die ruhige, feste Lagerung, welche diesen Sehnen der Metatarsalknochen in seiner ganzen Länge darbietet, indem er ihnen gleichsam als Schiene dient.

Ich lasse die Namen der Muskeln folgen, deren Sehnen sich an dem Verknöcherungsprocesse betheiligen.

Auf der Streckseite des Hüherfusses:

1. Musculus extensor digitorum, für die drei Zehen, (der Daumen wird immer besonders als „hallux" bezeichnet werden, damit er nicht etwa mit „digit. intern." verwechselt wird).

Nach Tiedemann, nach dem auch die Namen der Muskeln wiedergegeben sind, soll das Band, welches sich vom Malleol. extern. zum Malleol. intern. tibiae erstreckt, und unter dem die Sehne dieses Streckmuskels weggeht, bei alten

Hühnern verknöchern; ich habe dies nie beobachtet, jedoch waren vielleicht die von mir untersuchten Hühner noch nicht alt genug, ich benutzte 2 bis 4jährige. Bei ganz jungen Hühnern bis etwa zum 1. Jahre findet man die Sehnen auch noch nicht verknöchert.

2. Musc. extens. hallucis.

Auf der Flexionsseite liegen 7 Muskeln:

1. M. flex. perforat. digit. intern. } ensprechen beim Menschen
2. M. flex. perforat. digit. med. } dem M. flex. digitor. com-
3. M. flex. perforat. digit. extern. } mun. brev.
4. M. flex. profundus s. perforans trifidus, für die drei Zehen; er entspricht beim Menschen dem M. flex. digit. comm. long.
5. M. flex. profund. phalangae primae digiti interni.
6. M. flex. perforat. et perforans digiti medii.
7. M. flex. hallucis.

Die Sehnen der drei folgenden Muskeln verknöchern am spätesten, häufiger gar nicht oder nur auf einer sehr kleinen Strecke:

1. M. abduct. digit. extern. } entsprechen den Mm.
2. M. abduct. halluc. } interosseis des Men-
3. M. adduct. halluc. } schen.

Zur Histologie des Bindegewebsknochen.

Bis Reichert*) mit seiner Ansicht über die Structur des Bindegewebes hervortrat, hätte ich ohne auf Widerspruch zu stossen von einem faserigen Baue des Bindegewebes sprechen können; durch ihn wurde die frühere Ansicht, welche besonders von Schwann und Henle ausgebildet war, dass es faseriger Natur, dass es aus Bündeln und diese wiederum aus feinen Fibrillen zusammengesetzt sei, dass die bald breiteren, bald schmaleren dunkeln Streifen den Begrenzungsflächen derselben entsprächen, und dass die helle streifenlose Substanz Zwischensubstanz vorstelle, in Frage gezogen. Reichert sprach dem Bindegewebe den fasergewebigen Charakter ab, es wäre nur ein Gebilde wie Knorpel und Hornhaut, nicht

*) Reichert, Bemerkungen zur vergleichenden Naturforschung im Allgemeinen und vergleichende Beobachtungen über das Bindegewebe und die verwandten Gebilde. Dorpat. 1845.

fasrig, sondern zufällig faltig; nach seiner Ansicht wären die scheinbaren Fasern nur Ausdrücke von Faltungen, und zwar der Länge nach, einer homogenen mit einer kleineren oder grösseren Anzahl von Kernrudimenten versehenen, glashellen oder fein granulirten durchaus undurchbrochenen Substanz, es gliche ganz dem hyalinen Knorpel, gäbe wie dieser auf Kochen Leim und sei von ihm nur durch seine Weichheit und gerade diese zufälligen Faltungen verschieden.

Die Hauptargumente Reichert's für seine Ansicht sind ihrer Zeit von den verschiedensten Seiten widerlegt worden. Henle und Kölliker*) und nach diesen Bowman und Todd**) constatirten den faserigen Bau der Kapseln der Pacini'schen Körperchen auch zur Zeit ihrer grössten Anspannung. (Warum dieser Zustand besonders hervorzuheben, wird aus Späterem erhellen.)

Was den continuirlichen Uebergang von Bindegewebe in evident structurlose Häute, wie in die Scheide der primitiven Muskelbündel, betrifft†), so sagt Gerlach (Gewebelehre 1. Aufl. p. 83) mit Recht: „Wie ich glaube hat Reichert die structurlose Zwischensubstanz des Bindegewebes mit dessen Elementarfasern verwechselt; dass erstere in die Scheiden der primitiven Muskelbündel als nahestehendes Gewebe übergehen könne, unterliegt wohl keinem Zweifel.“ Es ist eine ganz bekannte Thatsache, die man besonders bei niederen Thieren beobachten

*) Henle und Kölliker, Ueber die Pacini'schen Körperchen an den Nn. des Menschen und der Säugethiere. Zürich. 1844.

**) Physiological anatomy, T. I. p. 397.

†) In Reichert's oben angegebenem Werke heisst es S. 78: „Meine Beobachtungen erweisen, dass die Scheiden der primitiven Muskelbündel, wie die grösseren Muskelscheiden, continuirlich mit dem Bindegewebe zusammenhängen, durch welches der Muskel sich an andere Theile mit seinen Enden inserirt; dass sie ferner demgemäss bestimmt ein gleichartiges Gewebe*) mit dem Bindegewebe darstellen, und, da sie hier wesentlich mit dem Bindegewebe des Krebses (die Reichert'schen Untersuchungen sind am Kiefermuskel des Flusskrebses gemacht) an andern Stellen übereinstimmen, sogar geradezu für Bindegewebe erklärt werden müssen.

*) Dies folgt aus einem S. 42 derselben Schrift ausgesprochenem Gesetze: Es wird uns öfters die Gelegenheit dargeboten, die verschiedenartigsten histologischen Formbestandtheile in unmittelbarer lokaler Beziehung unter einander zu beobachten. Lässt sich hier in solchen Fällen darthun, dass zwei in unmittelbarer Verbindung und örtlicher Berührung befindliche Gewebe continuirlich in einander übergehen, so folgt mit Bestimmtheit hieraus, dass dieselben, mögen sie auch jenseits der Uebergangsstelle Abweichungen darbieten und sehr verschiedenartig sich darstellen, ursprünglich dennoch von sehr innig gleichartiger Natur sein müssen, denn ein continuirlicher Zusammenhang zweier Körper setzt den continuirlichen Uebergang der Substanzen beider voraus. Ein solcher Uebergang ist aber nur bei vorhandener Homogenität der Substanzen möglich.

kann, dass das Interstrat zwischen den Fasern in verschiedenem Bindegewebe und in verschiedenen Altersstufen desselben Bindegewebes verschieden mächtig ist, so dass dadurch die wirklichen Elementarfasern der Bindesubstanz gänzlich verdrängt werden. Neben dem faserigen Bindegewebe hebt Kölliker (Gewebelehre, p. 757) besonders hervor, es möchten gewisse homogene Bindegewebshäute einfach die Bedeutung einer Intercellularsubstanz haben. Diese für die Bindegewebscontroverse indifferente Substanz hat Reichert mit dem wahren Bindegewebe identificirt, und ist hierdurch für die allgemeine Beurtheilung dieses Gewebes zu falschen Consequenzen gekommen. Gerade in der Histologie, als einer Wissenschaft, die noch in ihrer Entwickelung begriffen ist, wird eine strenge Untersuchung des einzelnen und doch dabei sorgsame Scheidung aller Gewebe weiteren exacten Forschungen nur förderlich sein, es ist viel schwerer aus einer schon kunstvoll zusammengesetzten Kette ein einzelnes Glied herauszunehmen und neu zu bearbeiten, als noch getrennte Glieder wieder und wiederum zu erproben.

Mit der Entwickelung des Bindegewebes ist die Reichert'sche Faltentheorie schwer in Einklang zu bringen. Schwann hat zuerst im Bindegewebe den Uebergang seiner Zellen in Fasern genau beschrieben, welche Verhältnisse von den verschiedensten Beobachtern nach ihm constatirt sind. Kölliker sagt in seiner Gewebelehre pag. 74: „Das Bindegewebe entwickelt sich ohne Ausnahme aus Zellen, und zwar das faserige aus spindel- oder sternförmigen Bläschen, die zu langen Fasern oder Netzen sich vereinigen und zugleich, oft schon vor der Verschmelzung, in Fäserchen zerfallen." Dem Zwecke meiner Arbeit würde es durchaus nicht entsprechen, hier weiter auf alle Phasen der Entwickelung des Bindegewebes einzugehen, die Wechselverhältnisse zwischen Zellen und Interstrat, den Uebergang einer homogenen Substanz in Fasern, Schritt für Schritt aus der Genese zu verfolgen, ich verweise, um mich kurz fassen zu können, auf die klar abgefasste Schrift von Baur „Die Entwickelung der Bindesubstanz", in der alle Fragen in Betreff der Bindegewebscontroverse genau besprochen und die wahren Verhältnisse gerade aus der Genese hergeleitet sind.

Für die Faserigkeit des Bindegewebes sprechen ferner die Resultate nach der einfachen Präparation und nach der Anwendung verschiedener Reagentien auf dasselbe. Jedem, der ein feines Längsschnittchen einer Sehne auf dem Objectglase mit einfachen Präparirnadeln ausbreitet, wird die leichte Zer-

legbarkeit in jeder mit der Längsaxe des Schnittes parallelen Richtung auffallen; unter dem Mikroskope sieht man an jedem der erhaltenen Spaltungsstückchen den charakteristischen zarten Längsstreifen, und in die umgebende Flüssigkeit hängen feine Fädchen in verschiedenen Winkeln hinaus; leicht lassen sich auch bei nur einigermassen vorsichtigem Zerlegen mit blossem Auge strangförmige Bindegewebsmassen und feinere Faserzüge, die primäre und secundäre Bündel constituiren, erkennen. Die Faltentheorie Reichert's kann wohl das mikroskopische Bild der Längsstreifung erklären, aber nicht die auffällig leichte Zerlegbarkeit des Bindegewebes. Gegen diese Beweise hat Reichert erwidert, dass sie ungültig sein müssten, da sie künstlich durch mechanische Eingriffe provocirt würden. In den Rollett'schen „Untersuchungen über die Structur des Bindegewebes" sind kürzlich zwei Mittel besonders angegeben, welche diesen Einwand Reichert's gründlich widerlegen können, denn bei ihrer Anwendung wird von einem mechanischen Eingriffe nicht mehr die Rede sein können, für einen solchen das Schütteln der Sehnen in einer Flüssigkeit nach der Extraction des Bindemittels zu erklären, verdient wohl keine weitere Berücksichtigung. Ist nicht dann vielleicht auch das Auflegen des Deckgläschen bei diesen Untersuchungen als ein Akt mechanischen Eingriffes zu erklären? — Die Beobachtungen Rollett's über die Wirkung des Kalk- und Barytwassers auf bindegewebige Texturen kann ich nach eignen Versuchen nur bestätigen. Alle anderen Methoden und Reagentien, welche zu denselben Resultaten führten, hier weiter aufzuzählen, ist wohl überflüssig.

Durch Druck und Zug die vermeintlichen Faltungen des Bindegewebes auszugleichen*), ist mir nie gelungen. Uebt man einen noch so bedeutenden Druck auf eine isolirte Bindegewebsfaser aus, so gelingt es doch nie, sie gänzlich zum Schwinden zu bringen, was bei vorhandenen Faltungen doch ein leichtes sein müsste, sie werden nur ein wenig platter und dadurch natürlich durchsichtiger, indem ihre Contouren weniger deutlich erscheinen. Dieselbe Ansicht spricht Gerlach (a. a. O. p. 82) aus und fügt ganz richtig hinzu: Ganz ähnlich verhalten sich aber auch die glatten Muskel-

*) Reichert sagt in seiner oft angeführten Schrift p. 51: „Entsprechen die fadenartigen dunkeln Streifen Faltenzügen der glashellen Membran, so wird und muss eine Veränderung des wirkenden Zuges bestehende Falten ausgleichen und andere von Neuem hervorrufen. Das geschieht auch in der That "

fasern und doch wird es Niemand einfallen, dieselben deshalb für Falten zu erklären.“

Als weiteren Beweis für die faserige Anordnung des Bindegewebes hebe ich schliesslich die genaue und sorgfältige Untersuchung des Querschnittes hervor. Ueberhaupt kann der Vergleich des Querschnittes mit dem Längsschnitte nicht genug empfohlen werden; Vernachlässigungen haben schon zu vielen Irrthümern und dadurch langen Streitigkeiten auch in andern histologischen Fragen geführt. Auch bei meiner Untersuchung war mir die sorgfältige Berücksichtigung des Querschnittes zur richtigen Beurtheilung des Objectes von wesentlichem Nutzen. Auf jedem Querschnitt der Sehne, der gleichmässig (durch Schaben statt scharfen Schnittes des Messers entstehen sofort die indifferenten Risse im Präparat) und dünn genug ausgeführt ist, werden die feinen Pünktchen auffallen, welche den querdurchschnittenen Fibrillen entsprechen müssen, denn hätten wir es mit Falten zu thun, so müssten wir auf dem Querschnitt mehr oder weniger lange und breite Striche sehen, je nach der Breite und Dicke der Faltungen im Längsschnitt. Ich glaube kunstgerecht dünne und reine Querschnittchen gemacht zu haben, konnte mich aber nur von feinen Pünktchen überzeugen. Diese Pünktchen noch deutlicher zur Anschauung zu bringen, nützte mir am besten die von Henle angegebene Methode, den Querschnitt einer gehärteten, also getrockneten oder mit Holzessig behandelten Sehne abwechselnd mit Essigsäure und Kali zu behandeln, um ein wiederholtes Aufquellen und Einschrumpfen des Gewebes zu veranlassen.

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen gehe ich zur speciellen Beschreibung des histologischen Baues der Hühnersehne über.

Der Längsschnitt der unverknöcherten Hühnersehne, einfach mit Wasser behandelt und fein zerzupft, zeigt unter dem Mikroskope*) Fibrillen, deren Durchmesser etwa 0,0003—0,0008‴ beträgt; ihr Verlauf ist wellenförmig und durch Verästelungen bilden sie feine Bündel, welche wiederum zu gröberen zusammenfliessen u. s. f., weichen hierin also in nichts von dem mikroskopischen Bilde jedes gewöhnlichen Sehnengewebes ab. In den Lücken des Gewebes sind die

*) Ich benutzte bei meiner Untersuchung ein Schiek'sches Instrument mittlerer Grösse; wo es nicht besonders angegeben, wandte ich eine etwa 350malige Vergrösserung an.

Kerne überall sehr schön als stark lichtbrechende Körperchen zu sehen, besonders in den Sehnen junger Hühner, auf Zusatz von verdünnter Essigsäure treten sie noch deutlicher und schärfer contourirt hervor. Ihr Verlauf ist etwas geschlängelt, ihre Grösse verschieden, durchschnittlich sind sie dreimal länger als breit, und ihre Breite beträgt etwa 0,003—0,004‴, sie erscheinen heller, wenn von der Fläche gesehen, dunkler, wenn auf der Kante stehend, und in diesem Zustande trifft man sie verhältnissmässig häufiger an; sie sind in ganz regelmässigen geradlinigen Längsreihen gelagert, in einem gelungenen Präparate kann man im Sehfelde häufig 4 bis 6 fast ganz parallel mit einander verlaufende Reihen von ihnen sehen, und bei verändertem Fokus erkennt man eben solche Reihen schwach durchscheinend in der Tiefe. Zuweilen gelang es mir, einen Kern isolirt zu erhalten, häufiger war dies der Fall, wenn ich dem Präparate ein wenig Essigsäure zusetzte. Auf Kalizusatz erblassten die Kerne allmälig, jedoch schwanden sie nicht gänzlich.

Neben diesen Kernen kamen in der einfach mit Wasser behandelten, parallel dem Längsverlauf ihrer Fasern fein zerlegten unverknöcherten Sehne Schüppchen zum Vorschein, die ebenfalls ganz regelmässig vertheilt und in Längsreihen geordnet lagen. Die Form dieser Schüppchen ist sehr verschieden, sie variirt vom fast Viereckigen bis ganz Runden in allen Mittelstufen, die meisten haben jedoch eine mehr rundliche Form, ihr Längsdurchmesser beträgt etwa 0,0022—0,0032‴. Bald erscheinen sie als einfache Plättchen, bald mehr schildförmig; ich sah auch Formen, die entstanden zu sein schienen, indem zwei Kerne mit ihren Polen durch eine feine Verbindungslinie zusammenhingen, jedoch stellte sich diese Erklärung durch den Vergleich ähnlicher Partien, durch Verändern des Fokus und Verschieben des Deckgläschen als eine irrthümliche heraus. Diese täuschende Aehnlichkeit mit je zwei verbundenen Kernen erwies sich als entstanden, indem die beiden Seitenränder des Schüppchen sich umgeschlagen hatten; ein solcher Umschlag fand sich häufiger beiderseits; wenn nur auf einer Seite vorhanden, erschien das Schüppchen unvollständig schildförmig. Verschob ich das Deckgläschen über dem Präparate vorsichtig, ohne jedoch dabei das Object aus dem Auge zu lassen, so konnte ich häufig einen solchen seitlichen Umschlag künstlich entstehen sehen, der sich sofort nach Zurückschieben des Deckgläschen wieder ausglich. Die so sehr verschiedenen Formen dieser Schüppchen glaube ich aus ihrer Abhängigkeit von den Druckverhältnissen, denen

das ganze Gewebe durch die zahlreichen umspinnenden Fasern und die Scheiden der Sehnenbündel ausgesetzt ist, herleiten zu dürfen, worauf ich jedoch später noch zurückzukommen habe.

Auch diese Schüppchen sind wie die Kerne stark lichtbrechende Gebilde, ihre Contouren sind überall sehr deutlich zu sehen; Essigsäure und Kali haben auf sie keinen merklichen Einfluss. Vor Allem ist es auffallend, wie auch diese Schüppchen durch das ganze Gewebe in schnurgraden Reihen liegen, ohne nach irgend einer Seite hin abzuweichen, und so etwa die verschiedenen Reihen mit einander in Verbindung zu setzen. Von den Kernen liegen die Schüppchen ganz gesondert, so dass wir unter dem Mikroskope ein Bild bekommen, in welchem das zart längsgefaserte Bindegewebe abwechselnd von einander parallelen Längsreihen von Kernen und Schüppchen durchsetzt ist, welche Anordnung nach Zusatz von ein wenig verdünnter Essigsäure besonders deutlich wird, wie es Fig. 1*c* zeigt; Fig. 1*a* und 1*b* zeigt ein Präparat, das nur mit Wasser behandelt ist.

An einzelnen Stellen sieht man oberflächlich eine Reihe dieser Schüppchen, und gerade unter ihnen in der Tiefe kommt eine Reihe von Kernen zum Vorschein, oder das Verhältniss ist auch ein umgekehrtes; in beiden Fällen ist zwischen diesen oberflächlichen und tiefen Reihen, sowohl zwischen Schuppen und Schuppen, wie zwischen Kernen und Kernen, oder abwechselnd unter einander nirgends ein Zusammenhang nachweisbar. Kerne, wie schon oben angegeben, erhielt ich gar nicht selten isolirt, mit den Schuppen war dies nie der Fall, sie lagen stets, wenn ich das Präparat auch noch so ergiebig und regelrecht zerlegt hatte, wofür mir die Durchsichtigkeit des Ganzen sprechen konnte, fest und unverändert in ihren von den Bindegewebsfibrillen gebildeten, eng umschliessenden Schläuchen; Reagentien verschiedener Art, wie Salpetersäure, Essigsäure, Kali blieben in dieser Hinsicht gänzlich wirkungslos.

Wenn ich ein fein zerlegtes frisches Sehnenstückchen, dem nur Wasser zugesetzt war, nach einiger Zeit, nur nach wenigen Minuten, wieder betrachtete, so hatte sich Fett in Form feiner und feinster stark lichtbrechender Tröpfchen auf den Schüppchen abgelagert, aber nur auf ihnen, der Raum zwischen einer und der anderen Schuppe derselben Reihe blieb unverändert leer. Häufig konnte ich am Rande des Präparates verschieden grosse Fetttropfen in die umgebende Flüssigkeit ausgetreten nachweisen, jedoch schien mir dies nur der Fall

zu sein, wenn ein Schüppchen die unmittelbare Grenze des Präparates gegen die Flüssigkeit bildete, und dann war auf der Schuppe selbst weniger oder gar kein Fett mehr zu sehen. Aus diesem Verhalten darf man wohl folgern, dass sich das Fett auf den Schuppen, nicht in ihnen befindet. Bildete die Schuppe nicht die Grenze, sondern der Raum zwischen zwei Schuppen, so schien kein Fett aus der Reihe auszutreten, welcher Umstand für die feste Umschliessung der Schuppen von Seiten des Gewebes zeugen kann.

Der schon mehrfach erwähnte Druck des Sehnengewebes auf die eingelagerten heterogenen Bestandtheile ist bedingt entweder durch Einschnürungen von Spiral- und Ringfasern, denen man besonders häufig in den Sehnen jüngerer Hühner begegnet und deren Windungen immer sehr weitläufig lagen und offenbar mehrere ursprünglich getrennte kleinere Bündel zu einem grösseren vereinigten; oder, und so häufiger, die Einschnürungen waren entstanden aus einer partiellen Ausdehnung der Sehnenscheide, sowie durch ein partielles Nachgeben derselben gegen den Druck des durch Essigsäure aufquellenden Bündels, wodurch dann Aufbauschungen und Einschnürungen zu Stande kommen, wie es in Fig. 2 abgebildet ist. Das Präparat ist aus einer Sehne des Lerchenfusses genommen; ich zerzupfte das Gewebe ein wenig und setzte dann verdünnte Essigsäure hinzu. Das Bindegewebe erscheint durch die Einwirkung der Säure schwach durchsichtig, die Kerne und ersten Anfänge*) der Schuppen sieht man deutlich in ihren gewöhnlichen Reihen geordnet; es muss aber sofort auffallen, wie das schwach faserige Grundgewebe an der Stelle der Einschnürung dichter zusammengehalten wird und allmälig mit der Abnahme des Druckes fächerförmig frei nach beiden Seiten hin ausstrahlt, so dass wir das Ganze mit dem Bilde einer Sanduhr vergleichen können. Die Einlagerungen sind in der Strecke der stärksten Einschnürung nur von der Kante zu sehen, sie erscheinen schmäler und etwas verlängert; mit dem Schwinden des Druckes werden sie breiter und kürzer.

Die elastischen Fasern bilden in der Hühnersehne keine Netze, nur an einzelnen seltenen Stellen kommt es zu einer unvollkommenen Netzbildung, gewöhnlich lässt sich eine einzelne elastische Faser ganz grade durch das ganze Sehfeld in ihrem charakteristisch geschlängelten Verlaufe verfolgen, ohne

*) Was mich zu dieser Bezeichnung veranlasst, wird später besprochen werden.

dass irgend eine Seitenfaser von ihr ausgeht. Henle vergleicht diese unregelmässigen Krümmungen sehr passend mit dem Bilde eines Stromes auf der Landkarte. In jeder Sehne kann man diese elastischen Fasern sehr leicht durch Behandeln des Präparates mit Essigsäure oder Kali hervorrufen.

Nach diesen Betrachtungen kann ich kurz zusammengefasst sagen: die unverknöcherte Hühnersehne besteht aus faserigem Bindegewebe, das von seinen Scheiden, sowie von Ring- und Spiralfasern umgeben, in sich eingelagert elastische Fasern, Kerne und Schüppchen enthält.

Dieselben Formelemente, wie in den Sehnen des Hühnerfusses, sind auch in allen andern sehnigen Theilen des Huhnes leicht nachzuweisen; ebenso fand ich sie constant in den Sehnen verschiedener anderer Vögelarten (ich untersuchte darauf: Lerche, Schwalbe, Sperling, Stieglitz, Goldammer, Fliegenschnäpper), nur fanden sich bei diesen die Schuppen noch nicht so vollkommen entwickelt, wie ich sie in den Sehnen der Hühner habe beschreiben können, da ich mir von ihnen nur jüngere Exemplare hatte verschaffen können; aus demselben Grunde fand ich bei ihnen nie eine schon verknöcherte Sehne.

Aus diesen Beobachtungen glaube ich schliessen zu dürfen, dass die beschriebenen Schüppchen in den Sehnen der Vögel als etwas typisches zu betrachten sind.

Ein anderes Verhältniss ergiebt die vergleichsweise angestellte Untersuchung der Sehnen einzelner Säugethiere; in ihnen finden sich die Schüppchen nicht constant, sondern nur in einzelnen wenigen. In der Achillessehne des Ochsen*) und der Kuh sind sie deutlich nachweisbar, besonders nach Kochen der Sehne oder nach ihrer Behandlung mit verdünnter Essigsäure; dagegen fand ich keine Spur von ihnen in den Sehnen des Hundes, Kalbes, Maulwurfs, Kaninchens, der Katze und Maus. Beim Menschen habe ich etwa 16 Achillessehnen, von denen zwei ganz frisch aus zwei amputirten Unterschenkeln genommen waren, auf diese Formen untersucht, habe sie aber nicht gefunden; Kochen der Sehnen, sowie ihre Behandlung mit Essigsäure, Salpetersäure oder Kali blieb erfolglos.

Was sind nun diese Schüppchen? Es lag nahe daran zu fragen, ob nicht vielleicht diese so regelmässigen Reihen nur Blutgefässe wären, die bei den Vögeln einen ungewöhnlichen Verlauf und andere Textur besässen, als wir zu finden

*) Von Henle schon erwähnt in seinem Berichte vom Jahre 1851.

gewohnt sind. Der Vergleich mit Gefässen in andern Geweben des Huhnes sollte mich hierüber aufklären; ich untersuchte zu diesem Zweck die Gefässhaut des Gehirns und des Auges, sowie verschiedene andere Gewebe, in denen ich vorzugsweise Gefässe aufzufinden erwarten konnte, fand aber überall den Verlauf und die Textur der Gefässe dem gewohnten Befunde bei Säugethieren analog. Mehrfach versuchte Injectionen in die Gefässe der Sehnen des Hühnerfusses, die gewiss zur richtigen Deutung sehr förderlich gewesen wären, misslangen leider.

Eine andere Annahme, ob nicht diese hellen, stark lichtbrechenden Schuppen nur der Ausdruck von Fettzellen oder Fetttropfen wären, welche durch bestimmte Structurverhältnisse des sie umschliessenden Gewebes in dieser regelmässigen Anordnung unverändert erhalten würden, glaube ich ausschliessen zu dürfen, da die übrige Textur der Sehne keine Bedingungen erkennen liess, welche eine derartige Gruppirung dieser Gebilde nothwendig machte; das ganze Grundgewebe zeigte, wie schon besprochen, nichts besonderes Augenfälliges, ausser dass es einem starken Drucke ausgesetzt ist, aus dem allein aber nicht derartige Formen und Verhältnisse eine Erklärung finden. Aether blieb, wenn man seine Wirkung in diesem Falle als massgebend annehmen darf, ohne jeden Einfluss auf die Schüppchen selbst, während die aufgelagerten Fetttröpfchen allerdings bald nach seiner Einwirkung zum Theil oder gänzlich schwanden. Vorhin erwähnte ich schon, dass die Schuppen sich nie isoliren liessen; wären sie nur Fett, würde dies von ihnen eher zu erwarten gewesen sein, als es mit den Kernen wirklich der Fall ist.

Mit dem Processe der Sehnenverknöcherung steht die Ausbildung der Schüppchen durchaus in gar keinem Zusammenhang, ich fand sie ja auch ebenso deutlich und ebenso entwickelt in allen sehnigen Theilen des Huhnes wieder, an Körperstellen, wo man nie in den Sehnen eine Verknöcherung beobachtet.

Ich bin geneigt, diese Schüppchen für nur metamorphosirte Kerne zu erklären. Wer von der Untersuchung der Sehnen ganz junger Vögel ausgeht, der wird wahrscheinlich gar nicht von Schuppen zu reden haben, er wird alle Formelemente in den Lücken des Sehnengewebes unter dem Namen „Kerne“ zusammenfassen, und nur vielleicht unter diesen differenziren, dass einzelne Reihen von etwas grösseren Kernen gebildet werden. Ich war von den Sehnen

alter Vögel ausgegangen und hatte bei ihnen die ausgebildeten Schuppen kennen gelernt, und da mir mit dem Alter des Vogels der Unterschied der Grösse und Form zwischen Kern und künftiger Schuppe evidenter und messbarer erschien, von Gebilden also, die in ihrer Jugend gar nicht oder nur minutiös zu unterscheiden waren, glaube ich zu der Annahme berechtigt zu sein, dass von den anfangs gleichen Körperchen sich ein Theil zu Schuppen allmälig mit der Entwickelung des ganzen Sehnengewebes ausbildet, während die übrigen Kerne als solche unverändert persistiren. Die Entscheidung über diese Hypothese fällt der Entwicklungsgeschichte anheim; aus ihr dies selbst näher zu eruiren, fehlte mir augenblicklich Zeit und Gelegenheit.

Um den Querschnitt der unverknöcherten Hühnersehne auf alle Formelemente genau zu untersuchen, zog ich eine Sehne aus dem Hühnerfusse heraus, liess sie an der Luft trocknen und verfertigte dann möglichst feine gleichmässige Querschnitte, denen ich auf das Objectglas gebracht nur ein wenig Wasser zusetzte. Fig. 3*a* zeigt einen solchen Schnitt. Sehr schön sind hier die sternförmigen Figuren zu sehen, deren Deutung für die Histologen noch immer eine Streitfrage bildet. Nach meinen Beobachtungen kann ich sie nur für den Ausdruck von Hohlräumen halten, welche durch das Zusammenliegen von Bündeln entstanden sind; die grösseren Lücken entstehen durch das Zusammenliegen der primären, die kleineren durch das der secundären Bündel u. s. f., wodurch verschieden winklige Räume entstehen müssen je nach der Zahl der sie constituirenden Bündel. Der deutliche Schlagschatten, welcher von den Begrenzungslinien dieser Räume ausgeht, spricht sehr dafür, dass wir es hier mit in die Tiefe verfolgbaren Gebilden zu thun haben, dass sie nicht der Ausdruck von einfachen Faserzügen sind, die dann allerdings den Contouren einer Zelle entsprechen könnten; das doppeltcontourirte Uebergehen der Scheidewände kleinerer Lücken in eine grössere ist nicht zu verkennen. In diesen Räumen sehen wir Kerne, bald nur einen einzelnen, bald zwei oder mehrere in einer Lücke, jedoch ist ein solcher Kern in einem kleinen von secundären Bündeln gebildeten Hohlraume selten zu erkennen, während sie in den grösseren constant vorkommen, und neben ihnen finden wir noch Fett und sonstigen Detritus. Das fein granulirte Aussehen des ganzen Objectes rührt von den quer durchschnittenen Bindegewebsfibrillen her, und muss unbedingt als ein Beweis für die Fasrigkeit des Bindegewebes angesehen werden.

Die Schuppen liessen sich im Querschnitte nicht so leicht nachweisen, anfangs war es mir nicht möglich, auch nur eine Spur von ihnen aufzufinden. Eine einfache Manipulation lehrte sie mich sofort und deutlich zum Vorschein bringen. Ich verfertigte nicht zu dünne Querschnitte, behandelte sie mit sehr verdünnter Essigsäure, so dass nur ein mässiges Aufquellen der Bündel hervorgebracht wurde, und verschob über einem solchen Präparate, indem ich das Object scharf im Auge behielt und zu gleicher Zeit den Fokus spielen liess, das Deckgläschen vorsichtig nach verschiedenen Richtungen hin. Auf diese Weise kann man deutlich verfolgen, wie der ursprüngliche Querschnitt sich wieder in einen Längsschnitt verwandelt, indem die querdurchschnittenen, natürlich nur sehr kurzen Bündel sich aufrichten und ein wirres Balkennetz bilden, indem einige Bündel sich über einander schieben, andere sich getrennt aufrichten, andere wieder mit ihrer einen Hälfte sich umkehren und nach oben zum Längsschnitt zusammenschieben, während ihre andere Hälfte als Querschnitt verbleibt. In dem durch diese Verschiebung hervorgebrachten Längsschnitte waren die Reihen der Schüppchen wie Kerne in ihrer charakteristischen Anordnung wieder zu erkennen, wie es Fig. 4 zeigt. Das Grundgewebe erscheint hier durch die Einwirkung der verdünnten Essigsäure mehr zart gelockt und gleichmässig. Durch weiteres Vor- und Rückschieben des Deckgläschen gelang es mir auch diesen Längsschnitt wieder zu einem Querschnitt zu restituiren, wobei ich deutlich verfolgen konnte, wie sich eine Schuppen- oder Kernreihe immer in die gewöhnlich dreieckigen, aber auch mehrwinkligen Räume des Querschnittes hineinlegte, und wie umgekehrt, bei der Bildung eines Längsschnittes aus dem Querschnitte, an der Stelle eines Hohlraumes eine Schüppchen- oder Kernreihe erschien. Aus diesen Erscheinungen dürfen wir wohl richtig folgern, dass die Schuppen den Hohlraum ganz ausfüllen, und zwar in der Art, dass sie sich eng an seine Wandungen anschliessen, woraus es erklärlich wird, dass wir sie in einem einfachen Querschnitte nicht erkennen können. Kerne sehen wir in den Lücken und erhalten sie auch leichter isolirt, weil sie weniger eng von den Bündeln umschlossen werden, die Schuppen hingegen müssen sich den Wandungen streng accommodiren, indem sie wahrscheinlich als zuerst vorhanden so von den Bündeln umfasst werden, wie wenn eine weiche Masse zwischen Walzen eingedrückt wird und durch diese von nun an ihre Form und Lage bedingt ist.

Ein Längsschnitt der verknöcherten Hühnersehne*) einfach mit Wasser behandelt ist in Fig. 5 abgebildet. Das ganze Gewebe ist von Kalksalzen, mit denen der Knochen imprägnirt ist, wie von einem dünnen Schleier überzogen; die Kalksalze haben sich in Form feinster, staubartiger, glänzender Körnchen abgesetzt, welche an einzelnen Stellen schon grösser, theilweise eckiger erscheinen, und theilweise schon zu einer homogenen Masse zusammenfliessen; durch sie hindurch vermögen wir jedoch eine deutliche Längsstreifung des Gewebes, sowie die Reihen der Schuppen und Kerne zu erkennen. — Um mich zu überzeugen, ob das beschriebene Sehnengewebe nach dem Processe der Verknöcherung eine weitere Veränderung ausser seiner Imprägnation mit diesen Kalksalzen erlitten, war es meine Aufgabe, diese aus dem Gewebe zu entfernen. Zu diesem Zwecke legte ich eine verknöcherte Sehne in mässig verdünnte Salzsäure, welche allmälig die Kalksalze auszog, trocknete sie an der Luft und verfertigte dann feine Längsschnitte. Die Einwirkung der Salzsäure kann man auch direct unter dem Mikroskope verfolgen. Ich machte einen möglichst dünnen Längsschnitt der verknöcherten Sehne und brachte diesen einfach mit Wasserzusatz unter das Mikroskop, dann brachte ich an den Rand des Deckgläschen ein Tröpfchen Salzsäure und konnte nun deutlich beobachten, wie durch die zufliessende Säure, deren Zutritt und Verbreitung man durch ein geringes Heben des Deckgläschen fördern kann, unter Aufbrausen und Bläschenbildung die Kalksalze ausgezogen wurden und ein Gewebe zurückblieb, wie es in Fig. 6 abgebildet ist. Wir sehen hier ein Gewebe, das bis auf einen zur Erklärung des Ganzen indifferenten Umstand dasselbe Aussehen zeigt, wie es uns aus der Betrachtung der unverknöcherten Sehne schon bekannt ist, es unterscheidet sich nur durch ein mehr derbes, festes Gefüge, da die durch die Kalksalzablagerungen bedingte Rigidität noch nicht vollkommen überwunden ist, und deshalb das Gewebe noch nicht vollkommen hat aufquellen können. An einzelnen Stellen ist das sonst deutlich faserig erscheinende Grundgewebe von Körnchen der noch nicht ganz ausgezogenen Kalksalze überlagert. Die Reihen der Schüppchen wie Kerne erkennen wir unverändert wieder, nur dass beide Gebilde, als Folge der grösseren Festigkeit des sie umschliessenden

*) Die Knochenschnitte lassen sich leicht mit einem scharfen Messer, am besten mit einem Rasirmesser herstellen.

Gewebes, einen wenn auch wenig kleineren Durchmesser zeigen. — Die elastischen Fasern kamen auch in der verknöcherten Hühnersehne im Längsschnitte nach Ausziehen der Kalksalze durch Salzsäure und folgendem Zusatz von einem Tröpfchen Kali mit Wasser verdünnt auf's Deutlichste zum Vorschein.

Der Querschnitt der verknöcherten Hühnersehne, wie er in Fig. 7 abgebildet ist, zeigt ebenfalls ein mehr derbes und rigides Gefüge; die dunkeln, von Luft erfüllten Hohlräume stechen besonders deutlich von den helleren nur schwach überschleierten querdurchschnittenen Bündeln des Grundgewebes ab, ragen scheinbar über sie hervor, und geben so dem Ganzen ein tropfsteinförmiges Aussehen. Da das dem Präparate zugesetzte Wasser auf die eingelagerten Kalksalze ohne jeglichen Einfluss ist, bleibt das Grundgewebe unverändert und kann nicht auf Kosten der Lücken quellen, und indem andererseits auch die Lücken nicht zusammenfallen können, sehen wir diese möglichst ausgedehnt, und das ganze Gewebe bewahrt seine Festigkeit.

An dem in Wasser nicht mehr quellbaren Gewebe scheinen die Lücken relativ erweitert, und indem auch die schmalen Spalten, welche zwei grössere Hohlräume in Verbindung setzen, wie beim Querschnitt der unverknöcherten Sehne näher besprochen wurde, erweitert schienen, entstanden die von Förster*) beschriebenen Uebergangs- und Knochenzellen des verknöchernden Bindegewebes**). Da ferner durch das Zusammengedrängtsein des Grundgewebes die Lücken näher an einander gelagert erscheinen, also auch die feinen Seitenspalten, welche die grösseren Hohlräume mit einander in Communication setzen, dem Raume nach häufiger gesehen werden müssen, sprach Förster von vermehrten Ausläufern. Abgesehen davon, ob man Lücken oder Körper des Bindegewebes annehmen will, muss doch jedenfalls die Förster'sche Deutung des Bindegewebsknochen darin modificirt werden, dass die von ihm beschriebenen und (Fig. II, 3 in seinem Lehrbuche) abgebildeten Knochenzellen jede aus einer vergrösserten Binde-

*) Lehrbuch der pathologischen Anatomie. 1860. S. 63.

**) Es kommt hier nur die eine von Förster angegebene Entwicklungsweise des Knochens in Betracht, bei der das Bindegewebe direct in Knochengewebe übergehen soll.

gewebszelle hervorgegangen sein sollen, und dass der Process der Ossification eine Vermehrung von Ausläufern im Gefolge habe. — Die Richtigkeit meiner Deutung wird ersichtlich werden, sobald man den Knochen durch das Einwirkenlassen der bekannten chemischen Reagentien zu dem erst wieder gemacht hat, woraus er hervorgegangen — zu Bindegewebe; Jeder wird sich dann sofort überzeugen können, dass sich der Knochenquerschnitt mit verdünnter Salzsäure behandelt (Fig. 3*b*) vom Querschnitte der normalen Sehne (Fig. 3*a*) in nichts unterscheidet, denn dass sofort nach dem Zusatze der Säure die Bündel, nicht vollkommen gequollen, noch eine gewisse Starrheit zeigen und dadurch die Lücken besonders zwischen den primären und secundären Bündeln erweitert bleiben, ist eine blosse Folge der nur allmäligen Wirkung der Säure und kann leicht beseitigt werden, wenn man feine Querschnittchen längere Zeit der Salzsäurewirkung aussetzt und sie nachträglich mit verdünnter Essigsäure behandelt.

Hat man dem Knochen seine Kalksalze entzogen, so sieht man in den grösseren Lücken einzelne Kerne wiederum ganz deutlich, und dürch die oben angeführten Manipulationen lassen sich die Schüppchen- und Kernreihen leicht zum Vorschein bringen. In den sehr weiten, fast ganz runden Hohlräumen, welche im Knochenquerschnitt (Fig. 3*b α*) verschieden zahlreich zu Gesichte kommen, und die jetzt nur einzelne Kerne, Fett und sonstigen Detritus enthalten, werden wohl die Blutgefässe verlaufen; gelungene Injectionen würden auch über dieses Verhalten Aufklärung verschaffen können.

Aus allen diesen Betrachtungen dürfen wir wohl mit Recht den Schluss ziehen, dass wir es bei den verknöcherten Hühnersehnen nur mit einem chemischen Processe in einem morphologisch ganz gleich gebliebenen Gewebe zu thun haben, dass diese Verknöcherung nur entstanden ist wie die Versteinerung einer gegebenen Form, dass sie eine typische ist, und dass nach Entfernung des chemischen Productes aus dem Gewebe dieses gänzlich unverändert wieder zu dem wird, was es vor dem Acte der Verknöcherung war.

Mit der mikroskopischen Untersuchung der verknöcherten Achillessehne vom Menschen bin ich noch nicht zu Ende gekommen, Näheres muss ich mir für spätere Zeit vorbehalten. Nach den bis jetzt angestellten Beobachtungen kann ich aber

schon sagen, dass in dieser Sehne der Process der Ossification nicht allein durch chemische Einflüsse zu Stande gekommen ist, sondern es sind wirklich histologische Veränderungen erfolgt, indem sich Knorpel- und Knochenzellen gebildet haben.

Wir haben in diesem Falle ursprünglich eine Ruptur der Sehne vor uns, welche Entzündung und deren gewöhnliche weitere pathologische Folgen mit sich geführt haben wird; hier ist es also nicht zur Verknöcherung eines intakten Sehnengewebes gekommen, die Verknöcherung ist keine directe oder primäre, wie in den Sehnen des Hühnerfusses gewesen, sondern ein durch pathologische Vorgänge gesetztes organisationsfähiges Exsudat hat secundär zur knöchernen Verheilung der Sehnensubstanz geführt; die Verknöcherung ist als eine indirecte zu bezeichnen, und dass die Resultate dieser Ossification sich anders gestalten würden, anders gestalten mussten, liess sich schon a priori muthmassen.

Erklärung der Abbildungen.

Fig. 1*a* und **1***b*. Längsschnitt der unverknöcherten Hühnersehne bei Wasserzusatz; **1***c*. derselbe mit verdünnter Essigsäure behandelt.

Fig. 2. Längsschnitt der unverknöcherten Sehne aus einem Lerchenfusse mit verdünnter Essigsäure behandelt.

Fig. 3*a*. Querschnitt der unverknöcherten Hühnersehne bei Wasserzusatz.

Fig. 3*b*. Querschnitt der verknöcherten Hühnersehne nach Extraction der Kalksalze durch Salzsäure bei Wasserzusatz.
a. Hohlraum für Blutgefässe.

Fig. 4. Querschnitt der unverknöcherten Hühnersehne mit verdünnter Essigsäure behandelt und dann zum Längsschnitt verschoben.

Fig. 5. Längsschnitt der verknöcherten Hühnersehne bei Wasserzusatz.

Fig. 6. Längsschnitt der verknöcherten Hühnersehne nach Extraction der Kalksalze durch Salzsäure bei Wasserzusatz.

Fig. 7. Querschnitt der verknöcherten Hühnersehne bei Wasserzusatz.
a. Hohlraum für Blutgefässe.

Nachtrag.

Nachdem ich meine Abhandlung „Zur Histologie des Bindegewebsknochen“ schon bei der Göttinger medicinischen Facultät eingereicht hatte, erschien in dem Archive für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin von Reichert und Du Bois-Reymond ein Aufsatz von N. Lieberkühn „Ueber die Ossification, 1. Th.“, in welchem die Resultate der detaillirteren Prüfung derselben Gewebe, die auch Objecte meiner Untersuchung gewesen waren, niedergelegt sind. Aus der gleichzeitigen Beendigung unserer Arbeit erklärt es sich, dass ich nicht schon von vornherein von den nur früher veröffentlichten Lieberkühn'schen Forschungen hatte Notiz nehmen können.

In einzelnen und zum Theil wesentlichen Punkten ist unsere Erklärung der untersuchten Gewebe übereinstimmend ausgefallen; was aber die Deutung der Formelemente der vollständig ossificirten und in diesem Zustande fortan nun unverändert persistirenden Sehnen betrifft, so kann ich der Lieberkühn'schen Ansicht nicht beitreten und muss bei meiner Deutung bleiben, die mir durch nachträglich wiederholte Untersuchungen noch besonders gesichert erscheint: das dritte Stadium der Ossification im Sinne Lieberkühn's in diesen typisch verknöcherten Sehnen fällt weg.

Zu diesen erneuten Untersuchungen benutzte ich, um der Lieberkühn'schen Arbeit in allen Punkten gerecht zu werden, sowohl das von ihm verwandte Material (Sehnen vom Puter), dann aber auch bediente ich mich zur Herstellung der Präparate seiner Methode, des Knochenschliffes*).

Die Deutung meiner Schüppchen als Knorpelkörperchen scheint mir gar zu sehr ein Mittel zum Zweck zu sein, ich muss meine Erklärung als die richtige festhalten. Wie verträgt sich die Lieberkühn'sche Erklärung mit dem Umstande, dass ich diese Gebilde ja auch in Sehnen wiedergefunden habe, die erfahrungsmässig nie verknöchern?

---

*) Beiläufig gesagt, habe ich mich von einem Vortheil in der Untersuchung eines Knochenschliffes durchaus nicht überzeugen können; abgesehen von der Schwierigkeit und der langweiligen Herstellung eines Schliffes bietet ein solcher nie ein so reines Bild, wie ein einfacher Schnitt; eine Menge von Zufälligkeiten lassen Risse, Zerrungen im Präparate entstehen, die ein sicheres Urtheil nicht zulassen. Wo es nur immer möglich, würde ich einen feinen Knochenschnitt zur mikroskopischen Untersuchung vorziehen.

Einen Kern habe ich nie in diesen Schüppchen nachweisen können; wenn Lieberkühn von solchen in seinen vermeintlichen Knorpelkörperchen spricht, so hat er sich wohl durch die aufgelagerten Fetttröpfchen täuschen lassen.

Der Umstand, dass Lieberkühn seine Untersuchung an durchschnittenen und dann durch Knochengewebe verheilten Sehnen, indem allmälig auch die Verknöcherung sich in der Continuität der ganzen Sehne fortgesetzt hatte, vorgenommen hat, könnte es vielleicht erklären, wodurch wir zu so wesentlich verschiedenen Endresultaten gelangt sind. Ich glaube, dass das von ihm untersuchte verknöcherte Sehnengewebe der Vögel mit in die Gruppe des Knochengewebes fällt, das ich als indirect entstandenes und streng von jenen typischen Verknöcherungen zu unterscheidendes Gewebe beschrieben habe. In dem zweiten Theile meiner Arbeit werde ich nochmals und näher auf die Lieberkühn'sche Untersuchung zurückzukommen haben, da ich mir bislang über die eben angedeuteten Verhältnisse noch keinen sicheren Aufschluss habe verschaffen können. Auch ich habe bei zwei Hühnern einzelne Sehnen des Fusses durchschnitten, die ich nach ihrer Verheilung, bei dem einen nach 6 Wochen, bei dem anderen Huhne nach 9 Wochen mikroskopisch untersuchte; in beiden Fällen war die vereinigende Exsudatmasse nur mehr oder weniger fest geworden, ohne schon für eine begonnene oder zu erwartende Verknöcherung besonders charakteristische Formelemente darzubieten; bis zur vollkommenen Verknöcherung scheint eine weit längere Zeit nöthig zu sein.

Eine neue Methode die mittlere Grösse des Blutdruckes in den Arterien zu bestimmen.

Von

J. Setschenow.

Die erste Anregung zur vorliegenden Untersuchung war der Wunsch, die haemotachometrische Methode von Vierordt, welche er in seinem Werke „Die Erschein. u. Gesetze der Stromgeschw. d. Bl. 1858" Seite 30 beschreibt, auszuarbeiten. Die Grundidee dieser Methode ist bekanntlich folgende: wird die Grösse des Blutdruckes, resp. der Widerstände, in einem angestochenen Gefäss nahe an der Verwundungsstelle normal gehalten, so giebt die Ausflussmenge der Flüssigkeit ein leichtes Mittel, die mittlere Stromgeschwindigkeit des Blutes an der betreffenden Stelle des Gefässes zu bestimmen. Vierordt verwirklicht diese Idee, indem er in das centrale Ende einer durchschnittenen Arterie eine Canüle und in diese eine mit einem Halse versehene Messingröhre einbindet. Letztere besitzt ausserdem zwischen dem in der Canüle steckenden Ende und dem Halse eine passende Seitenöffnung, welche mit dem Haemodynamometer in Verbindung gebracht werden kann. Man bestimmt zunächst den Blutdruck bei geschlossenem Hahne, dann wird dieser nur so weit geöffnet, dass der Blutdruck sich nicht wesentlich verringert und das ausfliessende Blut gesammelt.

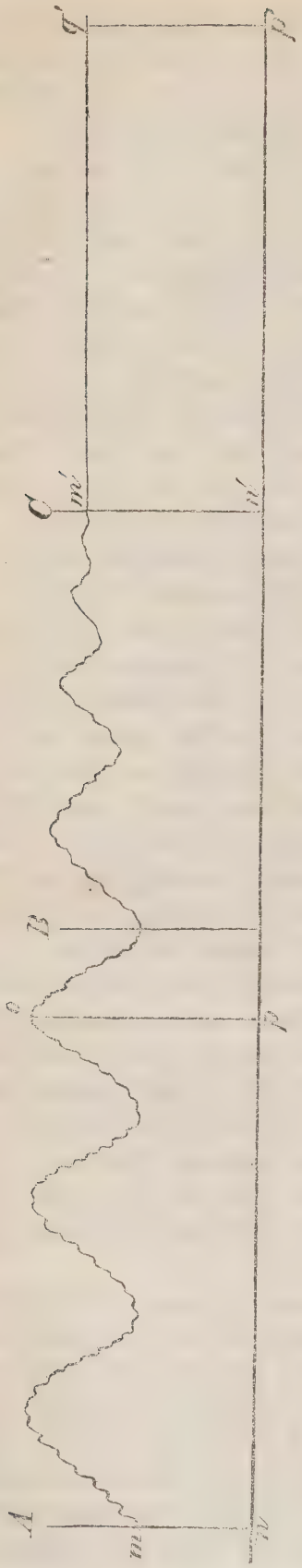
Es ist leicht einzusehen, dass die angeführte Methode principiell unzweifelhaft die beste von allen bis jetzt in der Physiologie üblichen ist und in cruder experimenteller Form von ihrem Urheber nur deshalb verlassen worden ist, weil die Quecksilberschwankungen im Haemodynamometer die Vergleichung der Grösse des Blutdruckes in zwei nach einander folgenden Versuchen fast unmöglich machen.

Wer aber die Methode ausarbeiten will, muss zuerst die Quecksilberschwankungen des Haemodynamometers zu besei-

tigen suchen, und zwar so, dass der Manometer dabei nicht aufhört, die an der betreffenden Stelle des Gefässes in seinem Inneren vorhandenen Druckverhältnisse relativ anzuzeigen. Ob die auf diese Weise erhaltene manometrische Höhe ein Ausdruck für die mittlere Grösse des Blutdruckes an der betreffenden Stelle sei oder nicht, ist für unsern Zweck gleichgültig, — wir brauchen nur, dass zwischen diesen zwei Grössen irgend ein beliebiges durch die Bedingungen des Versuches gegebenes Verhältniss stattfinde. Dann bürgt uns die Unveränderlichkeit der manometrischen Höhe in zwei nacheinander folgenden Versuchen für die Unveränderlichkeit der Blutdruckverhältnisse in dem Gefässe während desselben Zeitraumes.

Dieses erreichte ich dadurch, dass ich in den unteren bogenförmigen Theil eines Quecksilbermanometers einen durchbohrten Hahn einsetzte. Durch die allmälige Umdrehung des Hahnes wird der Querschnitt des Manometerrohres an einer Stelle verkleinert und dadurch der Widerstand für die Bewegung des Quecksilbers allmälig vergrössert. Als ich das so eingerichtete Manometer in eine Arterie einband und den Hahn allmälig umdrehte, so wurden die Quecksilberschwankungen niedriger und niedriger, um endlich ganz zu verschwinden. Dieser Zeitpunkt entsprach in meinem Manometer nicht dem gänzlichen Verschluss desselben durch den Hahn, weil das Quecksilber in beiden Schenkeln allmälig zu demselben Niveau zurückkehrte, als ich nach Beendigung des Versuches den Manometer bei der letzten Stellung des Hahnes vom Thiere trennte. Dieser Handgriff wurde bei allen später zu besprechenden Versuchen und mit demselben Erfolge wiederholt. Um den ganzen Vorgang im Manometer anschaulicher zu machen, wurden die Quecksilberschwankungen auch beim ersten Versuch kymographisch dargestellt. Die umstehende Figur ist eine schematisirte Zeichnung der an den narkotisirten Hunden erhaltenen Curven. Der Theil dieser Curve von A bis B entspricht dem geöffneten Hahne, bei B fängt die Umdrehung des Hahnes an, bei C sind die Quecksilberschwankungen verschwunden.

Der wichtigste erste Schritt war also gethan. Meine Aufmerksamkeit wurde hier nichtsdestoweniger von der weiteren Verfolgung meiner Aufgabe abgelenkt. Jeder wird zugeben, dass der erste Blick auf die Curve schon genügend war, um den Gedanken zu erwecken, dass das Manometer mit dem hemmenden Hahne vielleicht ein Mittel an die Hand giebt, die mittlere Grösse des Blutdruckes in den Arterien leicht und genau zu bestimmen. Ich wurde in diesem Gedanken



um so mehr bestärkt, als ich denselben vor ungefähr zwei Jahren in Heidelberg v. Prof. Helmholtz gehört habe.

Ich enthalte mich der detaillirten Schilderung des jetzigen Zustandes der Frage über die Bestimmung der mittleren Grösse des Blutdruckes in den Arterien — die Sache ist allzubekannt, um davon zu reden. Jeder weiss, dass unsere Wissenschaft in der kymographischen Methode von Ludwig bis jetzt ein einziges Mittel für solche Bestimmungen besitzt, dass diese einzige Methode aber sehr complicirt ist, grosser instrumenteller Mittel bedarf, dass sie endlich, wie es Vierordt gezeigt hat, in manchen Fällen zu falschen Resultaten führen kann. Kurz Jeder weiss, dass wir eigentlich kein einziges leichtes und immer sicheres Mittel für die Bestimmung dieser Grössen haben. Die Wichtigkeit solcher Bestimmungen für die Physiologie der Blutbewegung wird hoffentlich Niemand bestreiten ungeachtet der in neuerer Zeit erschienenen Arbeit von Ludwig und Stephan „Ueber das Fliess. d. Wassers u. s. w.“ und der daraus hervorgegangenen Meinungsdifferenz über die Bedeutung der manometrischen Höhen bei der Bestimmung der Spannungsverhältnisse der fliessenden Flüssigkeit.

Folglich hatte ich Bewegungsgründe genug, um die Verfolgung meiner ersten Aufgabe auf eine spätere Zeit zu verschieben und meine ganze Aufmerksamkeit der neu entstandenen Frage, ob das Manometer mit hemmendem Hahne in der That die mittlere Grösse des Blutdruckes an einer gegegebenen Stelle der Arterie anzeigen kann, zu widmen.

Ein strenger experimenteller Weg zur Lösung dieser Frage würde darin bestehen, eine periodisch wirkende Kraft zu finden, deren mittlerer mechanischer Effect auf irgend eine Weise, nur nicht durch unseren Manometer gemessen werden könnte, diese Kraft hernach auf die Quecksilberstärke unseres Manometers einwirken zu lassen, den Hahn desselben allmälig umzudrehen und die so erhaltene manometrische Höhe mit dem schon früher bestimmten mittleren mechanischen Effect zu vergleichen. Die Verwirklichung dieser Idee bedarf leider grosser materieller Hülfsmittel, in Ermangelung derer ich genöthigt war, einen Weg einzuschlagen, welcher die Frage wenn nicht mit absoluter, so doch mit annähernder Genauigkeit entscheiden konnte. Als periodisch wirkende Kraft blieb mir der Blutdruck in der Carotis des Hundes. Jeder Vivisector kennt aber die bedeutenden Schwankungen, welche diese Grösse während schmerzhafter Operationen darbietet. Der geringste Schmerz ruft oft Schreien, Bewegung des ganzen Körpers, tiefes Einathmen, mit einem Worte Bewegungen hervor, welche einen deutlichen Einfluss auf die Grösse des Blutdruckes haben. Es war aber nothwendig, alle diese schädlichen Momente zu beseitigen. Einspritzungen von Opiumtinctur in den Kreislauf, welche bereits seit längerer Zeit von Prof. Ludwig bei Vivisectionen benutzt wurden, erwiesen sich hier als vollkommen zweckentsprechend — das narkotisirte Thier verfällt auf mehrere Stunden wie in tiefen Schlaf; der Herzschlag wird zwar geschwächt, aber bedeutend regelmässiger als unter normalen Bedingungen, und die Athmungsbewegungen oberflächlicher. Beide Umstände sind ungemein vortheilhaft für unsern Zweck: ersterer, weil die Pulswellen in der erhaltenen Curve sich regelmässig wiederholen, letzterer, weil nach Beobachtungen von Vierordt die schädlichen Nebenschwankungen der Quecksilbersäule, welche von der Trägheit des bewegten Quecksilbers herrühren, mit der Abflachung der Respirationswellen sich verringern. Hierin liegt der Vortheil der Narkotisation. Der Nachtheil derselben besteht aber in der bedeutenden Verminderung der arteriellen Pulshöhe, welche der geschwächten Muskelcontraction des Herzens entspricht; da nun bei der grossen Quecksilbermenge unseres Manometers (136 Gr.) die Pulswellen in der Curve beinahe gänzlich verschwinden, so schwindet auch die Möglichkeit des Vergleiches zwischen der Angabe der Pulsschläge und den entsprechenden Schwankungen des Quecksilbers.*) Diesem wäre zwar abzuhelfen gewesen

*) Durch diesen Vergleich controllirt man aber nach Vierordt die Existenz oder Nichtexistenz der schädlichen Nebenschwankungen in dem Manometer

durch Verminderung der Quecksilbermenge, aber dann würden wir wiederum den Nebenschwankungen der Manometersäule Eingang verschaffen, Schwankungen, welche nach Vierordt die hauptsächlichste, wenn nicht ausschliessliche Fehlerquelle der Ludwig'schen Methode ist.

Auf die angegebene Weise wurden also die schädlichen Quecksilberschwankungen, welche von der Trägheit des bewegten Quecksilbers herrühren, in allen meinen Versuchen auf ein Minumum reducirt. Und da ich ihre Nichtexistenz nicht zu beweisen vermag, so nannte ich den von mir zur Lösung der Frage eingeschlagenen Weg auch nur einen annähernd richtigen.

Die Versuche wurden ganz in der Weise angestellt, wie sie von Volkmann in seinen Arbeiten mit dem Kymographion beschrieben worden sind; nur das Manometer war, wie gesagt, mit einem Hahn versehen. Nachdem auf der Trommel die Nulllinie gezogen war, wurde das Manometer bei vollständig geöffnetem Hahne mit dem Blute in Verbindung gesetzt und nach vollendeter halben Umdrehung der Trommel der Hahn allmälig so lange gedreht, bis die Curve in eine gerade auslief. Hiernach haben wir bekanntlich nur den Quadratinhalt zweier entsprechenden Flächen zu vergleichen (der Flächen m n p q und m' n' p' q' in unserer schematischen Figur.) Da mir ein Planimeter mangelte, so war ich gezwungen, die Gewichte dieser Flächen zu vergleichen. Da nun aber das zu den Versuchen benutzte Papier vorher angerusst werden musste, also die Russlage an verschiedenen Stellen verschieden dick sein sollte, so musste ich nach jeder Wägung der Papierausschnitte aus ihnen andere der Form nach willkürliche, jedoch vollständig identische Stücke ausschneiden und wiederum wägen, um die in den ersten Ausschnitten durch die Ungleichmässigkeit des Papiers bedingten Gewichtsunterschiede beurtheilen zu können. Es ist klar, dass wenn die Gewichte zweier Flächen einander gleich sind, so stellt die Höhenlage der Geraden, in welche die Curve auslief, über die Nulllinie die mittlere Grösse des Druckes dar.

Es folgen hier die von mir gefundenen Zahlenwerthe:

Nr. d. Vers.	Gewichtsuntersch. zw. d. Flächen.	Gewichtsuntersch. zw. d. sec. Ausschn.	Wirkl. Gewichtsuntersch. zw. d. Flächen.
1	2,5 Mgr.	1,1 Mgr.	weniger als 1,4 Mgr.
2	6 -	2,5 -	- - 3,5 -
3	2,1 -	1,4 -	- - 0,7 -
4	2,8 -	1,3 -	- - 1,5 -
5	0,9 -	0,8 -	- - 0,1 -
6	140 -	79 -	- - 61 -

Mit Ausnahme des letzteren Versuches, welcher an einem nicht narkotisirten Hunde mit sehr energischen Athmungsbewegungen angestellt worden war, ist der Gewichtsunterschied so gering, dass er keine Berücksichtigung verdient, zumal wenn man bedenkt, dass die Reibungsverhältnisse vom Haare und Papier beim Schreiben der Wellen nicht dieselben sind wie bei Verzeichnung der Geraden und dass endlich beim Ausschneiden der gezahnten Curven Ungenauigkeiten auf Milligrammentheile unvermeidlich sind. Es kann also das von mir construirte Manometer effectiv die mittlere Grösse des Blutdruckes an einem narkotisirten Thiere, wenn also die Nebenschwankungen der Quecksilbersäule auf ein Minimum reducirt sind, anzeigen. Es fragt sich aber, ob er diesen Werth für das Thier unter normalen Verhältnissen behält, was unzweifelhaft wichtig ist. Die Beantwortung dieser Frage ist leicht. Alle von mir erhaltenen Curven zeigen deutlich, dass mit der Vergrösserung des Widerstandes für die Bewegung des Quecksilbers im Manometer sowohl die Puls- als die Athmungswellen sich abflachen, folglich treten bei Umdrehung des Hahnes immer Bedingungen ein, unter welchen die schädlichen Nebenschwankungen fast vollständig verschwinden. Wenn aber die Puls- und Athmungswellen Null werden, so bleibt die Quecksilbersäule des Manometers nur unter dem Einflusse jener Kräfte, welche im Inneren des Gefässes thätig sind.

Folglich giebt unser Manometer ein Mittel an die Hand, die mittlere Grösse des Blutdruckes an einer gegebenen Stelle der Arterie leicht und genau zu bestimmen.

Zur Casuistik der Geruchsanomalien.

Von

Dr. **Lockemann** in Northeim.

Eine 55jährige Frau, die ausser einigen entzündlichen Krankheiten der Lunge und der Leber sich fortwährend einer guten Gesundheit zu erfreuen hatte, fing vor 4 Jahren an, ohne nachweisbare Ursachen über häufig wiederkehrenden Schwindel zu klagen, womit sich gleichzeitig ein Gefühl von Ameisenkriechen und Pelzigwerden der linken Gesichtshälfte verband. Ein Vierteljahr später traten Anfälle von momentaner Bewusstlosigkeit und von epileptiformen Convulsionen auf, die wohl 10 bis 15 Minuten dauerten, anfangs alle 3 bis 4 Tage, später öfter, mitunter einige Male täglich, wiederkehrten. In der Zwischenzeit befand sich die Kranke leidlich wohl, konnte ihre häuslichen Geschäfte wahrnehmen und hatte, ausser einiger Schwäche, überall keine Krankheitserscheinungen. Dieser Zustand hatte ohne wesentliche Zwischenfälle etwa 1 Jahr gedauert, als die Kranke anfing, kurz vor dem Beginne des Schwindels und der anderen bezeichneten Zufälle, eigenthümliche Geruchsanomalien zu bekommen. Sie roch die verschiedenartigsten Dinge, die sie nicht näher bezeichnen und deuten konnte, und für die sie keine Namen hatte, wozu aber objective Veranlassungen durchaus nicht vorhanden waren. Sie sagte, dass dieser fremdartige Geruch gerade nichts Unangenehmes und Lästiges habe, mitunter sogar ein Gefühl von Wohlbehagen errege, und fürchtete ihn nur, weil er der regelmässige Vorläufer des Schwindels und der epileptiformen Zufälle war. Waren diese vorüber, so verschwanden auch die subjectiven Geruchswahrnehmungen, und bis zum nächsten Anfalle blieb der Geruchssinn durchaus ungestört. Diese Geruchsanomalien wurden nach Verlauf eines Jahres allmälig geringer, verloren an Intensität und verschwanden endlich

ganz. Von da an zeigte das Geruchsvermögen nichts Ungewöhnliches mehr, es war vollkommen normal, hatte an Schärfe und Klarheit nichts eingebüsst und blieb bis zum Tode der Kranken, der zwei Jahre später erfolgte, völlig ungestört. Statt dessen aber wurde der Schwindel stärker und dauernder, verband sich oft mit den heftigsten Schmerzen im Vorderkopfe, die epileptiformen Zufälle wurden zwar seltener, dafür aber intensiver und gingen oft in einen komatösen Zustand über, der Stunden, mitunter Tage lang dauerte. Gleichzeitig trübten sich die geistigen Functionen, das Gedächtniss wurde schwach, das Denkvermögen schleppend und träge, die Kranke wurde gleichgültig gegen ihre Umgebung, paralytische Erscheinungen stellten sich ein, die sich namentlich auf die Blase und später auch auf den Mastdarm erstreckten. Ein apoplektischer Anfall machte endlich dem Leben ein Ende, nachdem die Krankheit fast vier Jahre gedauert hatte.

Die Section ergab eine allgemeine ziemlich gleichmässig verbreitete Hyperämie des Gehirns und seiner Häute, und einen Tumor im linken vorderen Hirnlappen. Diese Geschwulst hatte die Grösse eines Enteneies, lag frei und war durch eine leichte Zellgewebsmembran von der Gehirnmasse getrennt. Nach unten hatte sie das Gehirn durchbrochen und lag in einem Umfange von $1^1/_2$ Zoll frei auf der harten Hirnhaut, ohne mit ihr mehr, als durch leichte Adhäsion verbunden zu sein. Sie reichte vom Septum cribrosum bis an das Trigonum olfactorium und hatte auf der betreffenden Seite den Tractus olfactorius vollständig zerstört, so dass auch nicht eine Spur von ihm übrig geblieben war. Der linke Seitenventrikel, der Thalamus, Fornix und das Corpus striatum waren nach oben gedrängt, die Gyri und Sulci stark abgeflacht. Rechterseits war ausser einer mässigen Hyperämie keine Abnormität, und wurde namentlich der Riechnerv in seinem ganzen Verlaufe vollkommen intakt gefunden.

In dem übrigen Körper waren alle Organe gesund, und wurde eine pathologische Veränderung überall nicht weiter wahrgenommen.

Die mikroskopische Untersuchung der Geschwulst stellte sie als ein Carcinom dar.

Wenn ich diesen Fall der Oeffentlichkeit übergebe, so geschieht das darum, weil er einen unzweifelhaften Beweis für die specifische Geruchsfähigkeit des Nervus olfactorius liefert, welche immer noch nicht als vollkommen festgestellt betrachtet wird. Bis auf die neueste Zeit wird selbst von namhaften Forschern die specifische Thätigkeit dieses Nerven

in Zweifel gezogen, und namentlich ist Magendie auf experimentellem Wege zu der Ueberzeugung gelangt, dass nicht der Olfactorius, sondern die in der Schleimhaut der Nase sich verbreitenden Fasern des Trigeminus die Geruchsempfindungen vermitteln.

Experimente an Thieren zur Prüfung der specifischen Sinnesempfindungen sind aber eben so schwierig als trügerisch. Es ist das namentlich bei der Untersuchung des Geruchsorganes der Fall, da die Nase zweifachen Sensationen, der specifischen Geruchsempfindung und dem allgemeinen Gefühle vorsteht. Zu einem sicheren und zuverlässigen Resultate gelangt man erst auf pathologischem Wege, und dürfte es sich wohl der Mühe lohnen, eine Beobachtung etwas weiter zu verfolgen, die jedenfalls einen interessanten Beitrag zu der Lehre über die specifische Geruchsfähigkeit des Olfactorius liefert.

Der Tumor hatte auf den Tractus olfactorius einen Druck ausgeübt, ihn gezerrt und beunruhigt. Durch diesen mechanischen Reiz wurde die specifische Thätigkeit dieses Nerven angeregt, es entstanden subjective Geruchsempfindungen. Durch den fortdauernden und allmälig stärker werdenden Druck wurde der Nerv atrophisch und endlich ganz zerstört; er musste seine Functionen einstellen und somit hörten auch die krankhaften Geruchsempfindungen auf. Der Olfactorius der rechten Seite hatte nicht gelitten, er war in seinen normalen Verhältnissen geblieben, und genügte er, um später ein gesundes kräftiges Geruchsvermögen zu ermöglichen. Nur sehr wenige Beispiele sind in der medicinischen Literatur aufgezeichnet, wo der pathologisch-anatomische Befund die unzweifelhafte Ursache der subjectiven Geruchswahrnehmungen so klar und deutlich nachwies, wie in diesem Falle. Mit Ausnahme des Hirntumors wurde bei der Section durchaus nichts Krankhaftes gefunden, und die Druckerscheinungen abgerechnet, functionirten bei Lebzeiten alle Organe vollkommen normal. Geschwüre auf der Nasenschleimhaut, riechender Athem und dergl. hatten niemals stattgehabt, und zu hysterischen Erscheinungen hatte die Kranke niemals auch nur die geringste Anlage gezeigt. Man müsste wirklich in grosse Verlegenheit kommen, wenn man hier irgend wo anders als in dem Drucke des Hirntumors auf den Olfactorius die Ursache der Geruchsanomalien suchen sollte.

Berühmte Forscher wollen den subjectiven Geruchswahrnehmungen bei Gehirntumoren eine nur sehr zweifelhafte Bedeutung vindiciren und sind geneigt, ihre Ursache viel eher in anderen Organen, namentlich in denen des Abdomen, zu

suchen, als im Gehirn. Wo aber der pathologisch-anatomische Befund auf eine so eclatante Weise vorliegt und alle Erscheinungen so ungezwungen erklärt, wie in dem vorliegenden Falle, da wäre es wirklich eine Art von Uebermuth, wenn man in entfernten Gegenden nach zweifelhaften Dingen suchen wollte, die einfach und klar so nahe liegen. Das periodische Auftreten ist kein Gegenbeweis, da die Hirntumoren niemals permanente Erscheinungen hervorrufen, diese vielmehr fortwährenden Schwankungen unterworfen sind, mit grosser Intensität auftreten, um dann wieder bis auf ein Minimum zu verschwinden. Die Periodicität unserer krankhaften Geruchswahrnehmungen findet darin einen genügenden Grund.

Wenn ich auch nicht geneigt bin, auf eine einzelne Beobachtung allzu viel Gewicht zu legen, so steht das doch fest, dass der vorstehende Fall einen berücksichtigungswerthen Beitrag zu der Lehre über die specifische Geruchsfähigkeit des Olfactoriums giebt, und es wäre wohl zu wünschen, dass ähnliche Beobachtungen bekannt gemacht würden, um endlich die unzweifelhafte specifische Thätigkeit dieses Nerven festzustellen und ihm die Stellung anweisen zu können, welche ihm von Rechtswegen gebührt.

Zur Kenntniss des elektrischen Verhaltens des Muskels.

Vorläufige Mittheilung

von

G. Meissner.

Es ist bekannt, dass der elektrische Strom, welcher durch Anlegung einer Nebenschliessung an Längsschnitt und Querschnitt des Muskels abgeleitet werden kann, der sog. ruhende Muskelstrom eine Abnahme, die sog. negative Schwankung erleidet, sobald der Muskel sich contrahirt, gleichviel auf welche Weise diese Contraction angeregt wird.

Eine vor Kurzem aufgestellte Hypothese, welche die negative Schwankung des Muskelstroms betrifft, hier aber nicht weiter interessirt, veranlasste den Plan zu Untersuchungen über die Grösse der negativen Stromesschwankung bei verschiedener Grösse der Leistung, der dem sich contrahirenden Muskel zugemutheten Arbeit. Herr Stud. F. Cohn aus Danzig wollte sich der Bearbeitung dieser nicht leichten Aufgabe unterziehen; es ergab sich indessen alsbald, dass die Frage, um die es sich handeln sollte, vorläufig noch nicht beantwortet werden konnte, und zwar nicht etwa wegen der allerdings nicht unbedeutenden Schwierigkeiten in der Technik dieser Versuche, sondern weil dabei Erscheinungen zur Beobachtung kamen, welche durchaus zuerst weiter verfolgt werden mussten und auch ein besonderes Interesse für sich in Anspruch nahmen, so dass sich an die Stelle der vorgesetzten Aufgabe eine ganz andere völlig unvorhergesehene drängte, welche Herr Cohn nun statt jener, zum Theil gemeinschaftlich mit mir, in Angriff nahm.

Es handelte sich nämlich darum, festzustellen, welche Veränderungen der ruhende Muskelstrom erleidet, wenn dem

Muskel von aussen her, mechanisch Formveränderungen aufgedrängt werden, wenn derselbe gedehnt oder zusammengedrückt wird.

Die erste Bedingung, welche erfüllt sein muss, wenn die eben genannte Frage beantwortet werden soll, ist natürlich die, dass die an Längs- und Querschnitt des Muskels angelegten Ableitungen, die mit den Drahtenden des Galvanometers in Verbindung stehen, absolut unverrückt bleiben während der den Muskel treffenden mechanischen Einwirkungen; denn bei Verschiebungen der Ableitungen am Muskel werden im Allgemeinen die Bedingungen der Ableitung verändert, und Verstärkung oder Schwächung des abgeleiteten Stroms können auf diese Weise entstehen, welche ganz ausgeschlossen sein müssen. Um dieser Bedingung Genüge zu leisten, muss die bisher gebräuchliche Art, den Strom vom Muskel abzuleiten, aufgegeben, wenigstens sehr wesentlich modificirt werden. Wir können die Einrichtung, deren wir uns bedienten, in dieser nur vorläufigen Mittheilung nicht beschreiben, da das Eingehen auf die Technik der Versuche überhaupt hier zu weit führen würde, und müssen uns damit begnügen, zu versichern, dass man jene Bedingung vollständig erfüllen kann, wie das in unseren Versuchen der Fall war. Die Einrichtung bringt es aber mit sich, dass die Widerstände im Galvanometerkreise ziemlich bedeutend werden, und deshalb schon ist ein sehr empfindliches Galvanometer nothwendig, welches aber auch ohnedies für einen Theil der Versuche erforderlich sein würde. Wir haben uns des kürzlich beschriebenen*) äusserst empfindlichen sog. Elektrogalvanometers bedient, und die Beobachtungen und Messungen geschahen mittelst Fernrohr und Skala. Eine dritte Bedingung, welche wir zu erfüllen suchen mussten, ist die, dass die Zusammendrückungen und Dehnungen des Muskels so wie bei Elasticitätsuntersuchungen durch Gewichte bewirkt werden, unter Anderm desshalb, damit messende Beobachtungen angestellt werden können, zu welchen anderseits das genannte Galvanometer als sehr feines Messinstrument die Möglichkeit gewährt.

Die Methode der Versuche so wie die nothwendigen Vorrichtungen sollen demnächst in einer ausführlichern Mittheilung genau beschrieben und abgebildet werden.

---

*) Ueber ein neues Galvanometer, von Prof. G. Meissner und Inspector Meyerstein in Göttingen. Zeitschrift für rationelle Medicin, XI. p. 193.

Die Ergebnisse der Versuche sind folgende:

Wenn der in den Galvanometerkreis mit seinem natürlichen Längsschnitt und seinem natürlichen oder künstlichen Querschnitt (Sehne oder Querschnitt) eingeschaltete leistungsfähige, reizbare Muskel den Magneten in dauernder Ablenkung von seinem Nullpunkt eingestellt hat, so bewirkt die Zusammendrückung des Muskels in der Richtung seiner Längsaxe, also in der Richtung der Muskelfibrillen, jedes Mal und völlig constant einen Rückschwung des Magneten gegen den Nullpunkt zu; dauert die Zusammendrückung an, so gewinnt der Magnet eine feste Einstellung zwischen dem Nullpunkt und der dem ruhenden Muskelstrom entsprechenden Ablenkung; sobald die Zusammendrückung aufhört, schwingt der Magnet wieder zurück in diese dem ruhenden Muskelstrom entsprechende stärkere Ablenkung, und erreicht dieselbe in dem Masse genau wieder, als er seine ursprüngliche Länge wieder erlangt. Mit anderen Worten, es ist mit jeder Zusammendrückung des Muskels in der Richtung seiner Längsaxe eine negative Schwankung des Muskelstroms verbunden, welche so lange anhält, als die Zusammendrückung dauert. Diese negative Schwankung ist um so grösser, je stärker die Zusammendrückung des Muskels ist, doch können wir noch keine näheren Angaben über dieses Abhängigkeitsverhältniss, ob z. B. einfache Proportionalität stattfindet oder ein anderes Verhältniss, machen. Die in Rede stehende negative Schwankung verhält sich ganz ebenso, wie die bei der Contraction des Muskels stattfindende, deren Grösse ebenfalls abhängig ist von dem Grade der Verkürzung des Muskels; beiläufig wollen wir hier bemerken, dass ein Zurückweichen des Magneten über den Nullpunkt hinaus bei einer gewöhnlichen negativen Stromesschwankung an unserm Galvanometer überhaupt nur selten stattfindet, weil die Dämpfung solche übermässige Excursionen, wie sie bei der astatischen Nadel des Nobili'schen Multiplicators vorkommen, nicht zu Stande kommen lässt.

Wenn der Muskel in der Richtung seiner Längsaxe gedehnt wird, so geschieht das Gegentheil von dem, was bei der Zusammendrückung stattfindet, es erfolgt nämlich eine weitere Ablenkung des Magneten in dem Sinne des ruhenden Muskelstroms, dieser erleidet eine positive Schwankung, welche zu einem dauernden Zuwachs der Ablenkung wird, wenn die Dehnung anhält, und welche im Allgemeinen ebenfalls um so grösser ist, je stärker die Dehnung ist. (Vergl. unten den Zusatz.)

Wie oben schon bemerkt wurde, sowohl während der Zusammendrückung als während der Dehnung bleiben die an den Muskel angelegten Ableitungen mit genau denselben Punkten des Muskels in gleicher Berührung, mit denen sie während des natürlichen Zustandes des Muskels in Berührung sind, und die übrigen Bedingungen der Ableitung bleiben gleichfalls unverändert. Der Schluss ist gerechtfertigt, dass die beschriebene negative und positive Schwankung des Muskelstroms nicht von äusseren Umständen, sondern von Veränderungen im Innern des Muskels abhängig ist.

Die Zusammendrückung und Dehnung des Muskels in der Richtung eines Dickendurchmessers hat im Allgemeinen überhaupt bedeutend geringern Einfluss auf das elektrische Verhalten des Muskels, und der Einfluss gestaltet sich verschieden je nach Verschiedenheiten in der speciellen Form des Versuches. Aus den Beobachtungen scheint sich mit Sicherheit zu ergeben, dass bei den Zusammendrückungen und Dehnungen in querer Richtung sich wesentlich die Folgen davon einmischen, dass damit auch immer mehr oder weniger Einwirkungen auf die Lage der Theilchen in der Richtung der Längsaxe des Muskels verbunden sind; ja vielleicht haben die gegen einen Dickendurchmesser gerichteten Angriffe einen Einfluss auf das elektrische Verhalten nur insofern sie indirect sich auch gegen den Längsdurchmesser richten müssen. Doch sind hierüber noch weitere Untersuchungen nöthig. Wir beobachteten eine positive Schwankung, wenn der Muskel in seiner ganzen Länge zwischen zwei ebenen Platten zusammengedrückt wurde, wobei nothwendig ein grosser Theil der Muskelfasern der Länge nach angespannt wird. Wir beobachteten dagegen eine negative Schwankung, wenn beschränkte Stellen des Muskels in querer Richtung mittelst schmaler Instrumente stark zusammengedrückt wurden, auch dann eine negative Schwankung, wenn der Muskel mit zwei feinen Pincetten gepackt in querer Richtung gedehnt wurde, wobei sich ein tiefer Einschnitt quer über den Muskel bildet, so, als ob er mit schmalem Instrument stark comprimirt würde. Diese Versuche sind viel weniger sicher und exact ausführbar, als die den Längsdurchmesser direct betreffenden, besonders da nur in dieser Richtung von einer eigentlichen Dehnung und Compression die Rede sein kann.

Alle Versuche gelingen mit kurzen Muskelstücken ebenso, wie mit ganzen Muskeln, sie fallen bei Säugethiermuskeln in gleicher Weise aus, wie bei Froschmuskeln.

Wenn Zusammendrückung eines noch reizbaren Muskels in der Richtung der Längsaxe eine negative Stromesschwankung bewirkt, so scheint diese Erscheinung von vorn herein zwei Deutungen zuzulassen: man könnte der Ansicht sein, dass die Zusammendrückung als Reiz auf den Muskel wirke, eine Contraction veranlasse, und diese dann von der bekannten negativen Stromesschwankung begleitet sei. Sollte diese Ansicht unhaltbar sein, so bleibt nur die Deutung übrig, dass die durch die Zusammendrückung bewirkte Lagenveränderung der Muskeltheilchen an sich eine sich als negative Stromesschwankung zu erkennen gebende Veränderung des elektrischen Verhaltens des Muskels bewirkt.

Die erste Ansicht erscheint aus mehren Gründen nicht haltbar. Allerdings kann die Zusammendrückung den Muskel zu Contractionen reizen, aber diese bestehen bei den Muskeln, mit denen wir (im Sommer) arbeiteten, in kleinen localen, flimmernden Zuckungen, welche nicht anhalten, sondern nur eine kurze Weile nach Beginn der Compression erfolgen; die negative Stromesschwankung ist zunächst viel zu gross, als dass sie von diesen kleinen localen Zuckungen allein herrühren könnte, und ausserdem hält dieselbe ruhig an, wird bleibend, so lange die Compression dauert. Auch wird man nicht behaupten können, dass eine leichte Dehnung des Muskels nicht ebenfalls einen Reiz für den Muskel abgeben werde, die Dehnung war aber stets von einer positiven Schwankung begleitet. Ganz besonders aber spricht gegen jene Auffassung der bisher noch nicht erwähnte Umstand, dass Muskeln, welche alle Reizbarkeit für die stärksten Reize verloren haben, die Erscheinungen noch qualitativ ebenso zeigen, wie frische, reizbare Muskeln.

Wir müssen hier nämlich zunächst die Angaben von Schiff und Valentin, sowie von Arnold bestätigen, dass weder Froschmuskeln noch Säugethiermuskeln aufhören elektromotorisch wirksam zu sein, wenn ihre Reizbarkeit erloschen ist. Man beobachtet oft noch lange Zeit, nachdem der Muskel weder vom Nerven aus noch bei directer Application durch die kräftigsten Inductionsschläge in Contraction versetzt werden kann, nicht unbeträchtliche Intensität des ruhenden Muskelstroms im richtigen, normalen Sinne, oft auch allerdings ist ein sehr empfindliches Galvanometer zur Wahrnehmung nothwendig. Dehnt und comprimirt man solche Muskeln, so erfolgt die positive und resp. die negative Schwankung des Stroms genau ebenso regelmässig, wie bei frischen, reizbaren

Muskeln. In dem Masse, als die Intensität des ruhenden Muskelstroms nach dem Tode abnimmt, nimmt auch die absolute Grösse der negativen und positiven Schwankung ab. Wir haben mit der grössten Bestimmtheit wiederholt noch beide Schwankungen eintreten sehen, als der ruhende Muskelstrom den Magneten des sehr empfindlichen Galvanometers nur noch um 10 Skalentheile, welche etwa 340 Bogensecunden entsprachen, ablenkte. — Auch der todtenstarre Muskel ist elektrisch wirksam, und wenn dann die Richtung des abzuleitenden Stroms die umgekehrte von der normalen ist, dann kehrt sich auch die Wirkung der Dehnung und Zusammendrückung mit um, so dass jetzt wiederum die Dehnung eine positive Schwankung, die Zusammendrückung (wenn sie kräftig genug ist) eine negative Schwankung bewirkt. Wir behalten uns übrigens vor, über den zeitlichen Verlauf des elektrischen Verhaltens des Muskels nach dem Tode bis zur Starre und während der Starre demnächst noch genauere Angaben zu machen: hier haben wir diese Beobachtungen nur mit Bezug auf die Deutung der Erscheinungen am frischen Muskel erwähnt. Eine negative oder positive Schwankung des Muskelstroms kann im Allgemeinen ausser mit Hülfe des Galvanometers auch mit Hülfe eines sog. stromprüfenden Froschpräparats nachgewiesen werden. Vorausgesetzt, dass die Stromesschwankungen bei Dehnung oder Compression des Muskels rasch, plötzlich genug erfolgen, ist zu erwarten, dass ein empfindliches Froschpräparat gehörig angelegt dieselben ebenfalls anzeigt. Unsere Untersuchungen fielen in die heisse Jahreszeit, die Froschpräparate waren so wenig reizbar, dass nicht einmal der Nachweis des ruhenden Muskelstroms mittelst des stromprüfenden Präparats und die secundäre Zuckung vom Muskel aus gehörig gelang; es war daher nicht auffallend, dass auch jene negative und positive Schwankung bei Compression und Dehnung nur selten undeutlich kleine Zuckungen einzelner Muskeln des angelegten Froschpräparats veranlasste, zumal als bei diesen Versuchen die Dehnungen und Zusammendrückungen nicht leicht rasch genug ausgeführt werden können, um eine hinreichend steil abfallende oder ansteigende Veränderung des abgeleiteten Stroms zu bewirken.

Wir schliessen aus unseren Untersuchungen, dass die Annäherung der Muskeltheilchen in der Richtung der Längsaxe des Muskels eine Veränderung des elektrischen Verhaltens des Muskels bedingt, welche sich als negative Stromesschwankung des sog. ruhenden Muskelstroms zu erkennen giebt, und dass die Entfernung der Muskeltheilchen von ein-

ander in der Richtung der Längsaxe des Muskels zu einer entgegengesetzten Veränderung des elektrischen Verhaltens des Muskels führt, welche sich als positive Schwankung des sog. ruhenden Muskelstroms zu erkennen giebt. (Vergl. unten den Zusatz.) Der Muskel gehört in die Reihe solcher Körper, welche bei Druck und Dehnung ihr elektrisches Verhalten ändern.

Da nun der Muskel bei der Contraction sich selbst in der Richtung der Längsaxe zusammendrückt, so ist jedenfalls die Bedingung zum Eintritt jener hier behandelten negativen Schwankung des ruhenden Muskelstroms gegeben: ob die die Contraction begleitende negative Schwankung des Muskelstroms allein bedingt ist durch die Zusammendrückung, oder ob diese nur einen Antheil der negativen Schwankung bewirkt, ein anderer Antheil derselben vielleicht auf Rechnung des Vorgangs als selbstständiger Contraction zu setzen ist: das ist die Frage, auf welche die nächste Fortsetzung unserer Untersuchungen gerichtet sein wird.

Späterer Zusatz.*)

Nach einer durch äussere Umstände bedingten Unterbrechung der Versuche, hatte ich Veranlassung ganz besonders die Beobachtungen über den Einfluss der Dehnung des Muskels auf das elektrische Verhalten zu wiederholen. Dabei ergaben sich einige neue Thatsachen, welche wichtig genug sind, um in dieser vorläufigen Mittheilung noch berücksichtigt zu werden.

Die Regel ist, dass, wie oben angegeben, bei der Dehnung eines Muskels in der Richtung seiner Fasern der Muskelstrom eine positive Schwankung erleidet. Diese positive Schwankung wächst zuerst mit zunehmender Dehnung, erreicht ein Maximum, nimmt dann bei weiterer Dehnung ab und geht dann in eine negative Schwankung über bei noch weiter fortgesetzter Dehnung. Der Dehnungszustand des frisch vom lebenden Thier genommenen Muskels, bei welchem der Muskelstrom ein Maximum für eine gegebene Ableitung ist, ist nicht bei allen Muskeln ein und derselbe: man trifft Muskeln, welche man beinahe bis zum Maximum ausdehnen muss, um, bei gleichbleibender Ableitung, das Maximum der Ablenkung des

*) Das Vorstehende wurde bereits in den Nachrichten von der G. A. Universität etc. zu Göttingen, 14. Aug. 1861. Nr. 15. mitgetheilt.

Magneten zu erhalten, andere Muskeln bewirken das Maximum der Ablenkung schon nach mässiger oder sehr geringer Dehnung, endlich trifft man auch solche Muskeln, welche schon bei ihrer natürlichen Länge das Maximum des Muskelstroms für eine gegebene Ableitung haben, solche Muskeln zeigen bei der Dehnung sofort negative Stromesschwankung, zunehmend mit wachsender Dehnung, wie man sie bei Muskeln von dem vorher genannten Verhalten erst beobachtet, nachdem man mit der Dehnung über eine gewisse Grenze hinausgekommen ist, wie man sie bei anderen Muskeln auch wohl gar nicht beobachtet, nämlich bei solchen, bei denen das Maximum des Stromes erst mit dem Maximum der Dehnung zusammenfällt. Dieser Grenzfall und der andere Grenzfall (negative Schwankung bei jeder Drehung), für sich allein betrachtet, scheinen wegen des directen Gegensatzes jede Regel auszuschliessen; sobald man eine ganze Reihe von Uebergangsstadien beobachtet hat, Fälle, in denen das Maximum des Stromes mit verschiedenen Punkten der die fortschreitende Dehnung darstellenden Curve zusammenfällt, stehen jene beiden Gegensätze als die natürlichen Grenzfälle da, Coincidenz nämlich des Stromesmaximum mit dem Anfang und mit dem Ende der Dehnungscurve.

Als natürliche Länge des Muskels ist hier stets die zum Grunde gelegt, welche der nicht thätige Muskel ausgeschnitten und vertical hängend hat, wobei es natürlich vor der Hand ganz gleichgültig ist, ob man die eben bezeichnete in anderen Beziehungen auch als natürliche Länge darf gelten lassen, da es für den hier zunächst vorliegenden Zweck nur darauf ankam, einen bestimmt zu charakterisirenden Ausgangspunkt zu haben.

Die Ableitung geschah bei allen Versuchen in möglichst gleichmässiger Weise, nämlich von der untern Sehne des unverletzten Muskels einerseits, und von der Mitte oder nahezu der Mitte des Muskelbauches. Das Nähere hierüber soll, wie oben schon bemerkt, später mitgetheilt werden.

Ohne Schwierigkeit hat sich bei den Frösehen, deren Gastrocnemius stets benutzt wurde, eine Beziehung auffinden lassen zwischen der Verschiedenheit des Verhaltens der Muskeln bei der Dehnung und dem allgemeinen Körperzustande. Zu den ersten mit Herrn Cohn angestellten Versuchen wurden stets frisch aus dem Wasser gefangene Frösche benutzt; hier wurde stets nur positive Schwankung des Muskelstroms bei der Dehnung beobachtet, daher obige erste Angabe; als bei

der späteren Wiederholung der Versuche zuerst Frösche benutzt wurden, die schon längere Zeit eingefangen gehalten worden waren, zeigten sich jene Uebergangsfälle und besonders häufig der Fall, dass bei der geringsten Dehnung negative Schwankung des Muskelstroms eintrat. Nicht viel anders verhielten sich von den Feldern frisch eingefangene Exemplare von Rana temporaria (im August); als aber frisch aus dem Wasser gefangene kräftige Exemplare von Rana esculenta benutzt wurden, zeigten die Muskeln wieder den andern Grenzfall, positive Schwankung oft noch bei der stärksten Dehnung; daneben jedoch auch Uebergangsfälle.

Zu den Versuchen mit Säugethiermuskeln hatten früher Hundemuskeln gedient, sie verhielten sich, wie die Muskeln frischer kräftiger Frösche. Bei der Wiederholung der Versuche mit Kaninchenmuskeln, von verschiedenen Exemplaren, beobachtete ich immer nur negative Schwankung schon bei geringen Dehnungsgraden; dagegen zeigten die Muskeln einer ausgewachsenen Katze ausgesprochen den andern Grenzfall, positive Schwankung auch bei der stärksten Dehnung. Ich habe dann noch Muskeln einer jungen Katze und eines ausgewachsenen Hundes untersucht, und dabei gesehen, dass auch die verschiedenen Muskeln eines und desselben Thieres Verschiedenheiten des elektrischen Verhaltens bei der Dehnung zeigen können, so dass z. B. ein Gastrocnemius das Maximum des Stromes bei starker Dehnung, ein Biceps brachii desselben Thieres das Maximum des Stromes bei sehr geringer Dehnung oder gar bei natürlicher Länge zeigte.

Obiger ersten Angabe über das elektrische Verhalten der Muskeln bei der Compression in der Richtung der Längsaxe habe ich hier nichts Wesentliches hinzuzufügen. Hier giebt es weder scheinbare, noch wirkliche Ausnahmen, stets erfolgt negative Schwankung bei der Compression; die Ablenkung des Magneten im Sinne des ruhenden Muskelstroms wird um so kleiner, je stärker der Muskel zusammengedrückt wird. Bemerkenswerth ist, dass es sich hier um bedeutend stärkere negative Schwankungen handelt, als diejenigen sind, welche bei diesem oder jenem Grade der Dehnung des Muskels zur Beobachtung kommen. Es schien so, als ob diejenigen Muskeln durch Compression zu der relativ grössten Abnahme des ruhenden Muskelstroms gebracht werden können, welche das Maximum des Stromes erst bei starker Ausdehnung zeigen. Ein Mal habe ich bei einem Gastrocnemius vom Frosch die merkwürdige Erscheinung zweifellos beobachtet, dass bei einem

gewissen Grade der Compression der ursprünglich kräftige Muskelstrom gleich Null wurde, so dass der Magnet beim Oeffnen des Kreises und beim Wiederschliessen unverrückt auf dem Nullpunkte blieb, und dass bei noch weiterer Verstärkung der Compression der Muskel einen Strom im entgegengesetzten Sinne, gegenüber dem ursprünglichen Strom, zeigte unter fester Einstellung des Magneten; als dann der Muskel wieder auf seine natürliche Länge gebracht wurde, war der ursprüngliche Strom im richtigen Sinne ungeschwächt wieder vorhanden.

Ueber die Neubildung quergestreifter Muskelfasern.

Eine Erwiderung an Herrn Prof. Budge

von

Dr. **August Weismann.**

Herr Prof. Budge publicirt im sechsten Band von Moleschott's „Unters. z. Naturlehre" eine Abhandlung „über die Fortpflanzung der Muskeln", in welcher er die Entstehung neuer Muskelfasern während des Wachsens durch vergleichende Zählung der Gesammtzahl der Fasern im Musc. gastrocnemius junger Frösche einerseits und erwachsener Frösche andererseits nachzuweisen sucht. Nachdem er mit einer Ausdauer, deren Werth nicht hoch genug angeschlagen werden kann, 13261 Muskelfasern gezählt und nach seiner Ansicht die fragliche Neubildung unumstösslich dargethan hat, wendet er sich der Messung der Breite einer jeden einzelnen Faser zu. In stattlichen Tabellen theilt er die Messresultate von 12068 Fasern mit und gründet darauf die Aussicht, durch Verfolgung der von ihm gebahnten Wege „fast bis auf die Stunde ermitteln zu können, wie viel die Muskelfasern durch Nahrungs- oder Blutmangel, durch Arbeit, durch Einfluss der Nervenanregung etc. an Masse oder der äquivalenten Kraft verlieren," und weiter „mit einer bisher nicht vorhandenen, fast mathematischen Sicherheit den Einfluss der Nahrung, der Uebung, verschiedener Heilmittel, guter Luft, der Temperatur, des Lichts etc. auf die Muskeln" bestimmen zu können! Sodann beweist er durch die Zählung von 739 Kernen, dass in den dicken Muskelfasern mehr Kerne liegen als in den dünnen, gewiss ein unbestreitbares Resultat für Jeden, der einmal eine dünne und eine dicke Muskelfaser neben einander gesehen hat, und kömmt schliesslich in Betreff der Art und Weise der Faser-Neubildung zu einer Ansicht, die er wörtlich also kund giebt: „Zufolge dieser Beobachtung (dem Vorkommen von

feinen Fasern und von Randkernen) könnte man zu der Vermuthung geführt werden, von einer stärker gewordenen Faser schnüre sich am Rand eine junge Faser ab, und gehe nun ihrer weitern Entwickelung entgegen, indem ihre Randkerne in die Mitte rücken, hier sich vermehren; dass dann Nebenkerne heraustreten, dabei der Querschnitt zunähme und durch Bildung von Randkernen der Cyklus vollendet wäre. Obwohl ich nun einige Erscheinungen gleich anführen werde, welche dieser Annahme zu entsprechen scheinen, so ist dennoch grosse Vorsicht erforderlich, und ich muss hinzufügen, dass es mir bis jetzt noch nicht gelungen ist, eine Faser zu finden, bei welcher eine nach der Länge zu beobachtende Einknickung oder Einschnürung bemerkbar geworden wäre.“ So Herr Budge. Sechs und dreissig weitere Zeilen über das Für und Wider dieser Hypothese schliessen die Abhandlung.

Auch ich habe mich mit der Frage nach der Neubildung von Muskelfasern lange Zeit hindurch beschäftigt. Während Herr Budge den Weg des Zählens als den einzig werthvollen hinstellt (Moleschott, Zeitschr. VI. S. 41), hielt ich es für möglich, das Wie der Neubildung direct zu erforschen. Gelang es, den Modus der Vervielfältigung genau zu beobachten, so war das Factum, dass überhaupt eine Vermehrung stattfindet, implicite bewiesen. Ich erreichte dieses Ziel, und beschrieb die complicirten Vorgänge der Faservermehrung in dieser Zeitschrift (Bd. X. S. 263). Es gelang mir, die Neubildung der Primitivbündel durch Längstheilung in ihren verschiedensten Stadien an Froschmuskeln zu verfolgen. Gestützt auf klare Beobachtungen, zeigte ich zwei wesentlich verschiedene Modi der Faservermehrung: eine Abspaltung am Rande der Mutterfaser und eine dichotomische Theilung in zwei gleiche Hälften durch die Mitte derselben. Ein Rekapituliren meiner Arbeit würde weitläufig und zwecklos sein, um so mehr, als das erste Durchlesen genügen wird, die Vorwürfe der Oberflächlichkeit und Unselbstständigkeit von ihr fern zu halten. Aber ein schweres Vergehen war in ihr doch begangen worden: die im Eingang vorliegender Zeilen gewürdigten Zählungen Budge's und die ihnen angefügten Hypothesen — bereits vor meiner Arbeit veröffentlicht — waren mir unbekannt geblieben. Ich kannte nur eine frühere Publication, in welcher Budge seine Zählresultate ohne die nachträglichen Breitemessungen als Beleg für die Existenz einer Fasernneubildung anführte, und obgleich seine damalige Schlussfolgerung mit meinen Beobachtungen übereinstimmte, erlaubte

ich mir doch die Möglichkeit einer exakten Zählung und somit die Stichhaltigkeit seines Beweismittels zu bezweifeln. Diese Ungläubigkeit und mein Uebersehen des letzten Budge'schen Aufsatzes gab Herrn Budge Veranlassung zu Angriffen (siehe den vorigen Band dieser Zeitschrift S. 305), welche in vorliegenden Zeilen näher beleuchtet werden sollen.

Vor Allem macht mir Herr Budge das Recht streitig, jene genialen Zählungen anzuzweifeln; weil ich weder die treffliche Wirkung seines muskelzerlegenden Reagens kenne, noch die „kleine Mühe" übernommen habe, seine arithmetischen Versuche nachzuahmen. Es diene zur Erwiderung, dass ich die Mischung von chlorsaurem Kali mit Salpetersäure, deren sich Budge bedient, im Laboratorium ihres ersten Empfehlers, des Herrn Prof. Schulze zu Rostock, kennen gelernt habe, und ihre Einwirkung auf Muskelfasern recht wohl kenne. Als einen Beleg meiner Bekanntschaft mit dem erwähnten Mittel erlaube ich mir Herrn Budge mitzutheilen, dass der Zusatz von chlorsaurem Kali für die Wirkung seines Reagens vollkommen überflüssig ist, indem die gewöhnliche rohe Salpetersäure ohne irgend weitern Zusatz durchaus genügt, um nach mehrstündiger Einwirkung die Muskelfasern „wie die Blätter eines Buches" isolirbar zu machen.

Was nun das Zählen selbst betrifft, so waren es eben gerade meine eigenen, wiederholt angestellten Versuche, die mich die Ausführbarkeit und Zuverlässigkeit des Zählens bezweifeln liessen, und der letzte Aufsatz Budge's, in welchem den Zähltabellen die Masstabellen beigegeben wurden, war mir leider nicht zu Gesicht gekommen. Ich kannte die letzte Arbeit Budge's nicht, und der artige Kunstgriff, mit welchem ihr Verfasser meine Unkenntniss zu einer fingirten zu stempeln sucht, indem er sich über meine Bekanntschaft mit einer Margo'schen Abhandlung wundert, welche doch in dem nämlichen Band der Moleschott'schen Untersuchungen wie seine letzte Arbeit zu finden sei, — jener Kunstgriff wird in seiner ganzen Eleganz gewürdigt werden, wenn ich für weniger Orientirte mittheile, dass der Margosche Aufsatz im 36. Band der Wiener Sitzungsberichte erschienen und erst als Abdruck von dort in Moleschott's Untersuchungen aufgenommen worden ist. Dieser Sachverhalt ist den Untersuchungen Margo's bei Moleschott vorgedruckt; Herr Budge, der wo es zweckdienlich ist, sehr wohl zu combiniren weiss, wollte sein Staunen nicht durch die naheliegende Vermuthung beschwichtigen, dass ich die Margo'schen Mittheilungen an der Stelle ihres ersten Er-

scheinens gelesen habe. Dennoch war dem wirklich so, und der Budge'sche Aufsatz blieb mir verborgen. Hätte ich ihn gekannt, meine Zweifel an der Richtigkeit der Zählungen wären stumm geworden. Nun da ich ihn gelesen habe, nehme ich sie gern zurück. Von den früher nur gezählten Fasern sind nun 12068 nach $^1/_{180}$ Mm. gemessen und ihrem Mass nach tabellarisch geordnet worden. Gegenüber solcher Exaktheit unterdrücke ich gern meine Abneigung gegen das Wunderbare und bekenne, dass ich glaube.

Wären die Budge'schen Angriffe auf die eben erörterten Vorwürfe beschränkt geblieben, so hätte ich meinem revocirenden Zugeständniss Nichts weiter beizufügen. Mein Uebersehen jener Arbeit war ein Fehler, um so mehr, als dieselbe nicht nur im 6. Band der Moleschott'schen Zeitschrift zu finden war, sondern sogar schon ihren Weg in die Comptes rendus de l'academie française gefunden hatte. Ganz erstaunlich aber sind die weiteren Behauptungen, welche Herr Budge an jene Vorwürfe anzuknüpfen sucht. Bei einer Unabhängigkeit unseres Arbeitens, welche durch Manöver, wie das vorhin absolvirte, zu meinem Nachtheil verdächtigt wird, will Herr Budge in meiner Abhandlung genau dasselbe finden, welches er „bereits an drei Orten bewiesen" hat; er hält für ausgemacht, dass genau das von ihm gesehen worden ist, was ich als neu von mir gefunden betrachte, und dergleichen mehr!

Das am Eingang dieser Zeilen gegebene Citat, die Quintessenz der Budge'schen Leistungen in Betreff des Modus der Muskelfaserneubildung, und ein Vergleich desselben mit den von mir beobachteten Thatsachen, mag diese Behauptungen in ihrem wahren Lichte zeigen und zugleich die Gewandheit bewundern lassen, mit der Herr Budge auf einer gespaltenen Seite durch Gegenüberstellung einzelner recht passend aus dem Zusammenhang herausgenommener Sätzchen die Identität unserer Resultate darzuthun strebt. Ich beschrieb die eigenthümliche, dem Process der Spaltung vorangehende Anordnung der Kerne, die allmälige Anordnung einer dichtgedrängten Kernsäule. Ich zeigte, wie bei dem einen Modus der Spaltung, der Randabspaltung, die Mutterfaser ihre cylindrische Form verliert, sich vollkommen abplattet, wie sie breiter und blässer wird, häufig so sehr, dass ihr Contour nur bei scharfem Zusehen genau zu verfolgen ist, während der mittlere Theil, welcher die Kernsäule unmittelbar umgiebt, anfänglich wenigstens noch von grösserer Dicke bleibt. Ich wies nach, wie dann in diesem Stadium eigen-

thümliche Spaltungen eintreten, auf welchen die Bildung neuer Fasern beruht, und beschrieb diesen Vorgang folgendermassen: „Es entsteht nämlich in der Nähe des verdünnten Faserrandes eine Spalte von verschiedener Länge, und zwar so, dass das zwischen Spalte und Rand liegende Stück in gewissen Abständen die früher erwähnten isolirten Kerne enthält. Dies geschieht meist an mehreren Stellen in der Länge einer Faser zu gleicher Zeit; verlängerte man die Spalten, so würden sie alle zusammentreffen, und dann also eine bandartige, kernhaltige Faser von geringerer Breite, aber derselben Länge wie die Ursprungsfaser, von derselben ablösen. Die Spaltung beginnt nicht immer an denselben Punkten, man trifft da die verschiedensten Verhältnisse. Theils sind an den Sehnenenden bereits vollkommene Abspaltungen eingetreten, während im übrigen Verlauf nur einzelne kürzere correspondirende Spalten sich zeigen, theils hat sich eine junge Faser bereits in weiter Strecke vom Rande abgeschnürt und hängt nur noch an einer kurzen Strecke mit der Mutterfaser zusammen, theils sind in dem Mittelstück bereits lange Spalten vorhanden, während die Sehnenenden noch ungetheilt sind. Sehr oft auch sah ich zwei- und dreifache Spaltungen nebeneinander, ja in einzelnen Fällen war eine solche platte Faser mit Kernreihe ganz zerspalten in vier bis fünf feine Fasern, deren jede isolirte Kerne in weiteren Abständen enthielt, und die, wenn auch auf grosse Strecken frei und vollkommen selbstständig in der Flüssigkeit flottirend, doch an andern Stellen die ganz unversehrte, nirgends eingerissene, oder auch nur die künftige Spaltung andeutende homogene Mutterfaser darstellten“ etc. Von dem so wesentlichen Vorgang der Abplattung der Faser, Hand in Hand gehend mit der Bildung von Kernsäulen, ein Vorgang, der sich mit geringen Modificationen auch bei der zweiten Art der Faserneubildung, der dichotomischen Spaltung vorfindet, hat Budge Nichts gesehen. Herr Budge hat von dem Modus der Fasertheilung überhaupt Nichts gesehen, sondern lediglich seinen Zähl- und Messresultaten die Hypothesen angefügt, welche im Eingang dieser Zeilen wörtlich abgedruckt stehen. Nachdem er dort selbst zu grosser Vorsicht bei der Aufnahme seiner „Vermuthungen“ aufgefordert und beigefügt hat, dass es ihm bis jetzt noch nicht gelungen ist, eine Faser zu finden, bei welcher eine nach der Länge zu beobachtende Einknickung oder Einschnürung bemerkbar geworden wäre, fährt er also fort: „Wohl aber ist es mir wiederholt vorgekommen, dass von einer

Faser am Rande sich eine feinere abzuheben schien, wo dieselbe an einem Ende vollständig, am andern nicht mehr ganz (?) mit der Grund- (oder Mutter-) Faser verbunden war.“ Dabei verweist er auf Zeichnungen, in welchen, abgesehen von ihrer der Beschreibung gleichkommenden Unklarheit, das so charakteristische, den Spaltungsprocess begleitende Verhältniss der Kernsäule ebensowenig wie in seinen Abbildungen dichotomisch getheilter Fasern zu finden ist, und deren Bedeutung als im Spaltungsprocess begriffene Fasern kein mit dem Gegenstand Vertrauter anerkennen wird.

Wenn nun Herr Budge einen vereinzelten Satz aus meiner Arbeit auswählt, und denselben zum Beweis der vollständigen Identität unserer Beobachtungen einem Stückchen seiner oben citirten Bemerkungen auf die nachstehende Weise gegenüberstellt:

Weismann:	Budge:
Die Spaltung geschieht an mehreren Stellen in der Länge einer Faser zu gleicher Zeit. Theils sind an den Sehnenenden bereits vollkommene Abspaltungen eingetreten, während im übrigen Verlauf nur einzelne kürzere correspondirende Spalten sich zeigen, theils hat sich eine junge Faser bereits in weiter Strecke vom Rand abgehoben und hängt nur noch an einer kurzen Strecke mit der Mutterfaser zusammen	Eine Faser ist an einem Ende noch vollständig, an dem andern nicht mehr ganz (?) mit der Mutterfaser verbunden, in der Mitte bereits abgehoben; in andern Fällen war die Verbindung noch lockerer (?).

so wird Jeder zugestehen, dass die Argumentationen des Herrn Budge mehr den Effect, als die Wahrheit suchen. Nach Allem wird man es gerechtfertigt finden, wenn ich meine Verhandlungen mit Herrn Budge durch vorstehende Zeilen für erledigt erkläre. Ich schliesse mit der vollkommensten Hochachtung vor den Zahlen-Leistungen des Herrn Budge, zugleich aber mit der Versicherung, dass sich Herr Budge überall da verrechnen wird, wo er glaubt, das Verdienst fleissiger Beobachtungen Anderer durch kühnes Zugreifen für sich und seine Vermuthungen erobern zu können.

WELLCOME LIBRARY INSTITUTE

Gedruckt bei E. Polz in Leipzig.

Fig. 1.

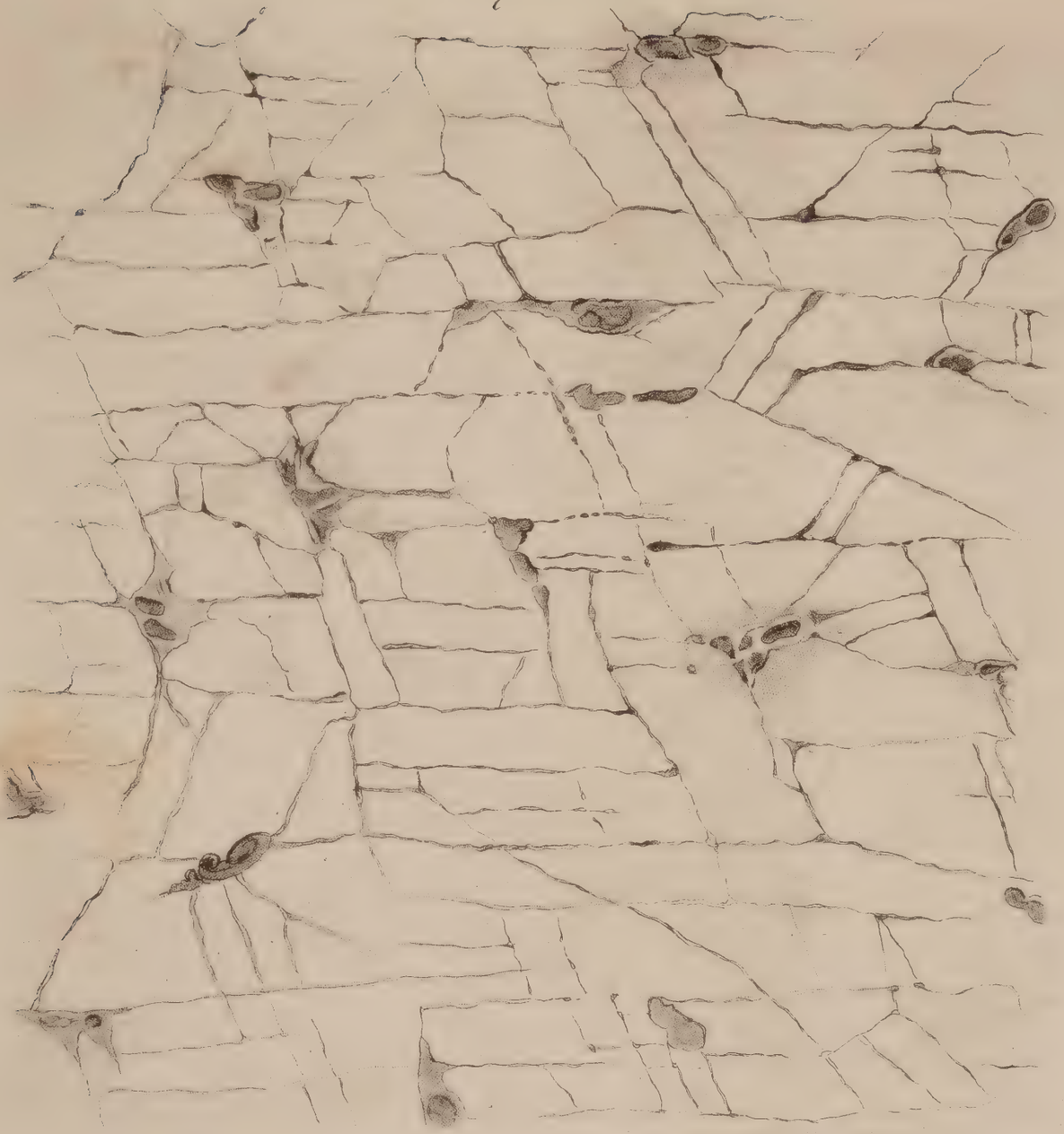


Fig. 4.

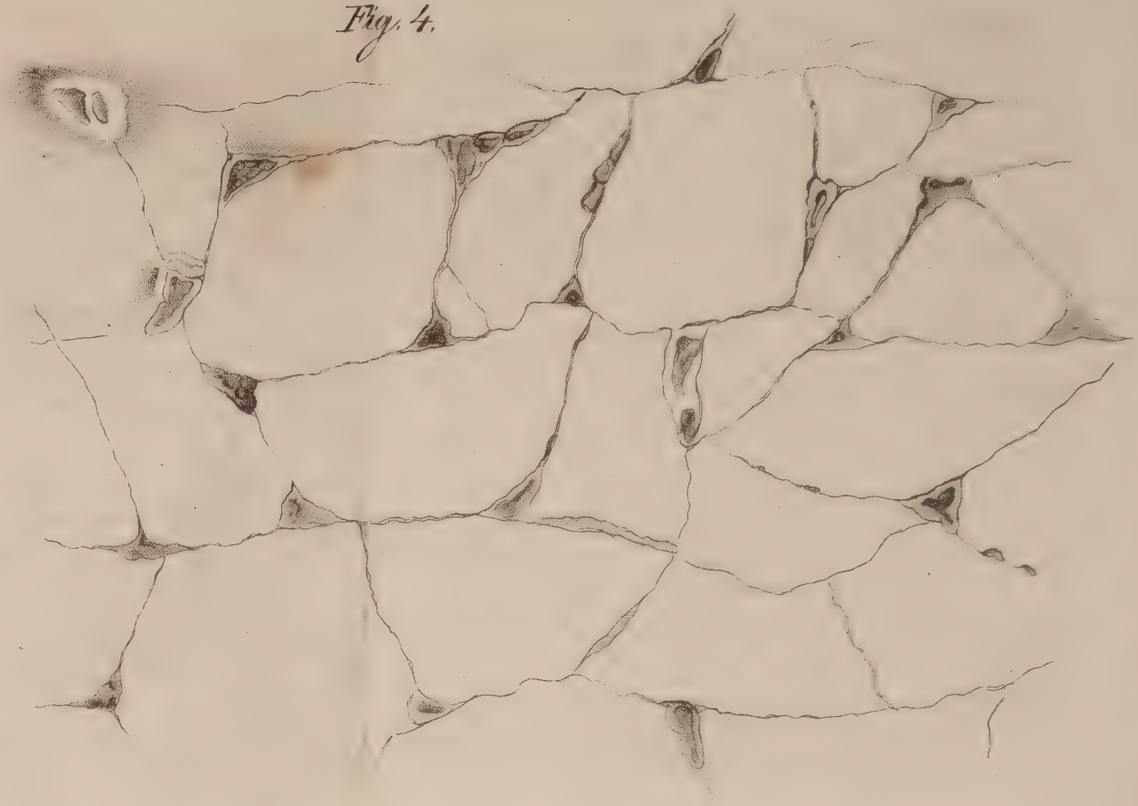


Fig. 3.

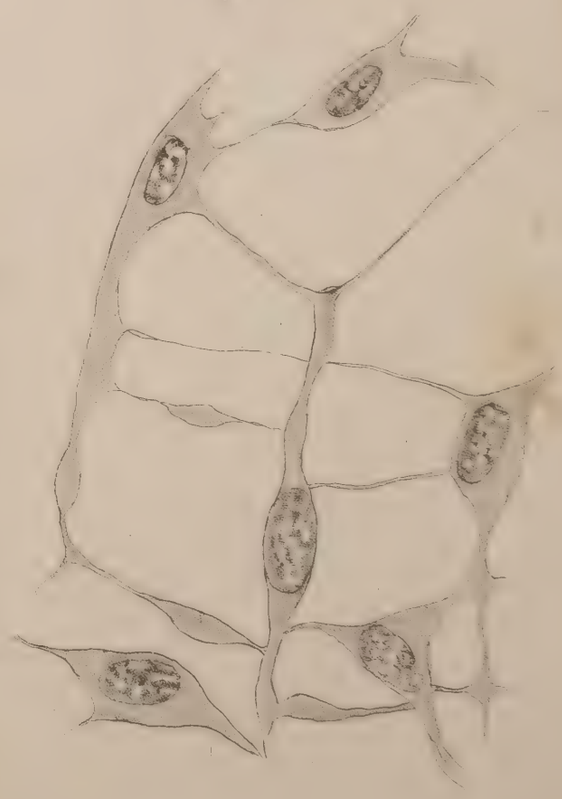


Fig. 5.

Fig. 2.

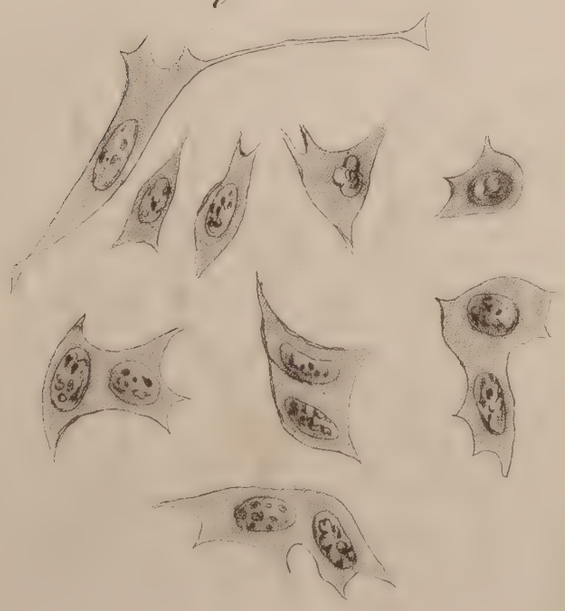


Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

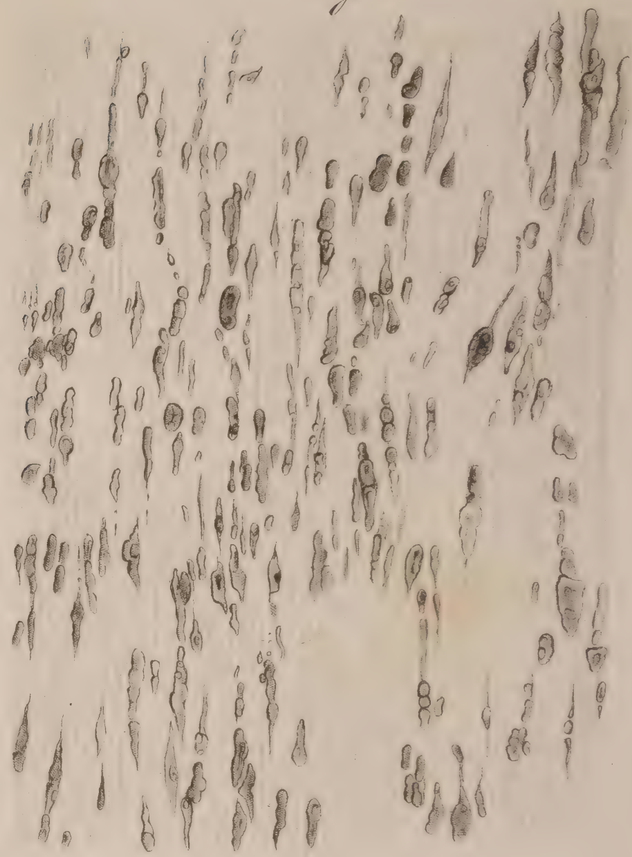


Fig. 9.

Fig. 10.

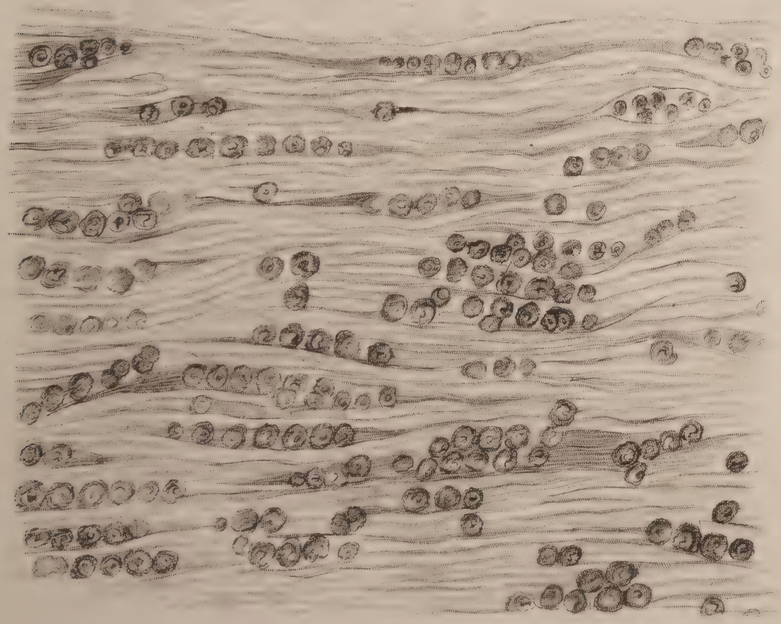
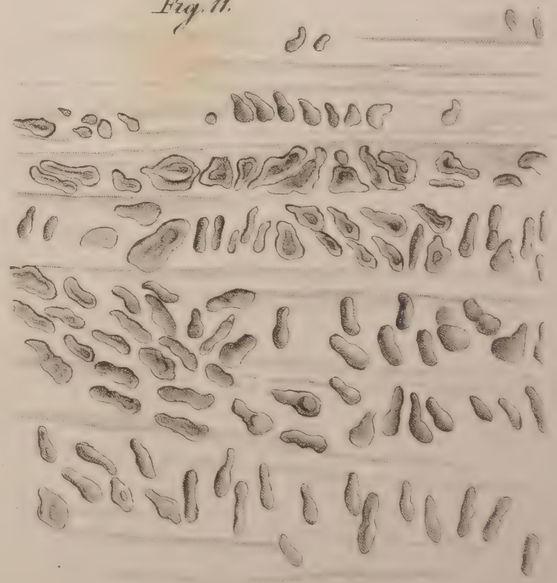


Fig. 11.



Henle u. Pfeufer Zeitschr 3te R. Band XII. Taf III.

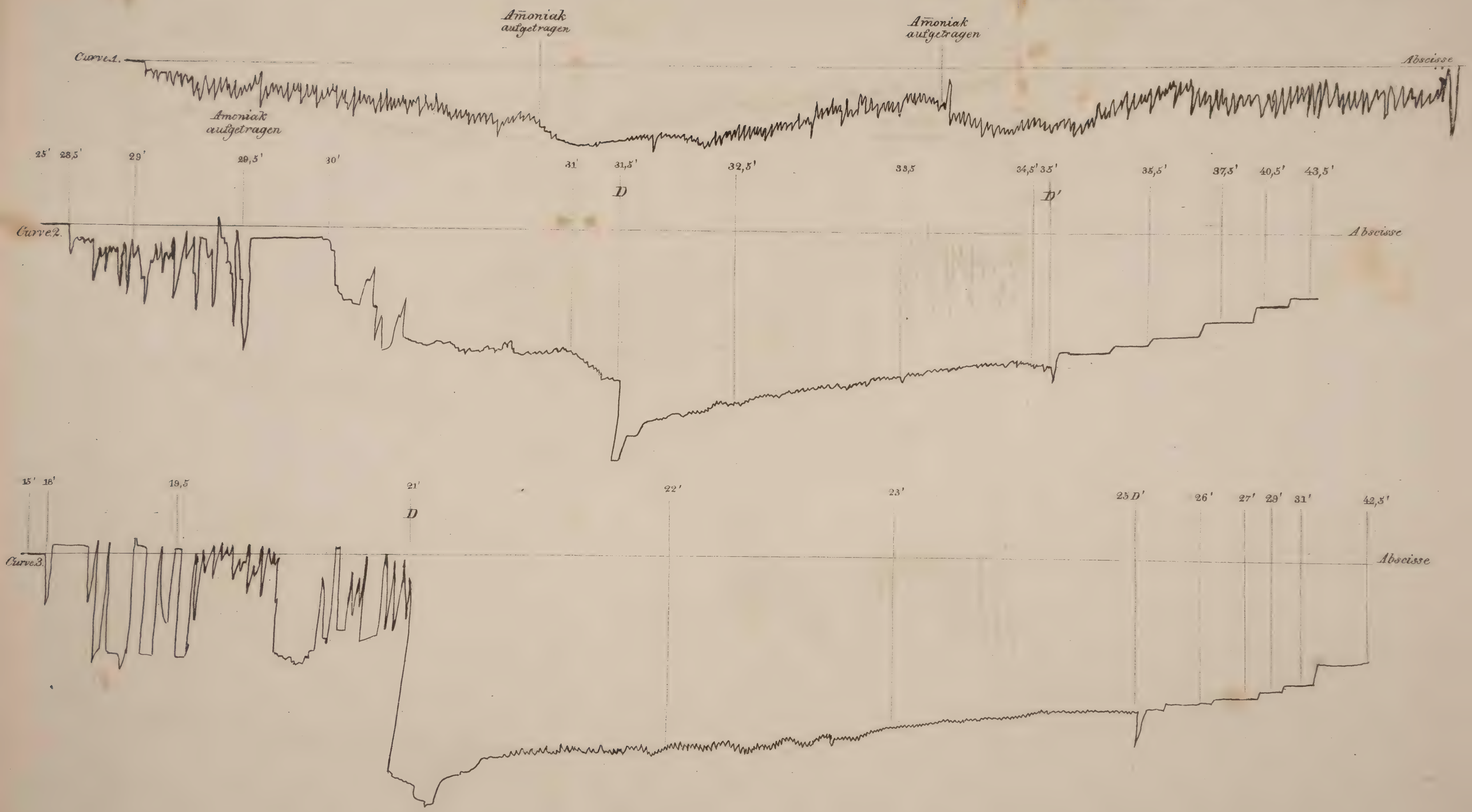


Fig. 1.

Fig. 2.

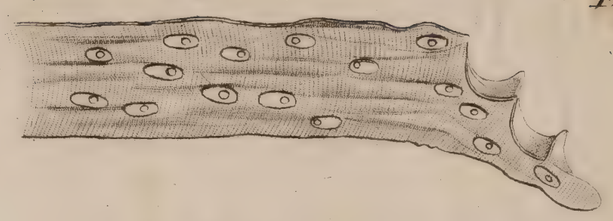
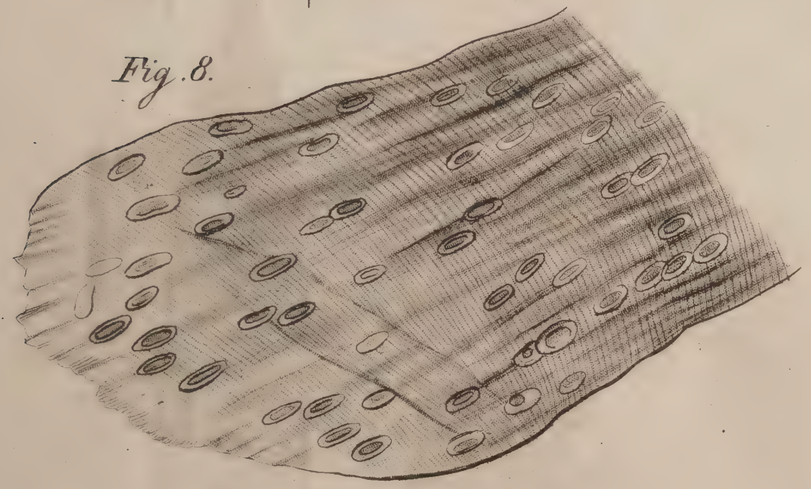


Fig. 3.

Fig. 8.



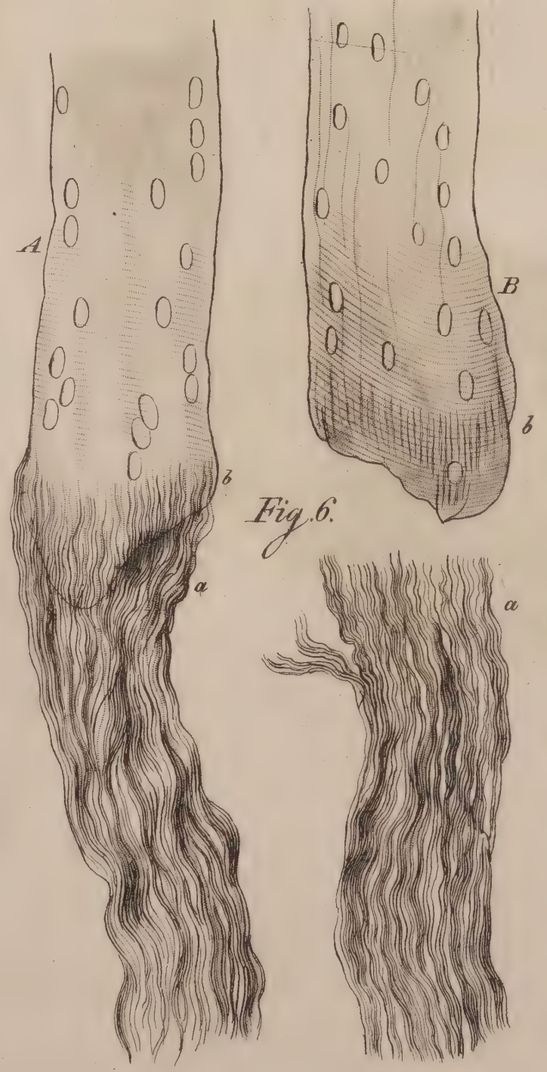


Fig. 6.

Fig. 7. B.

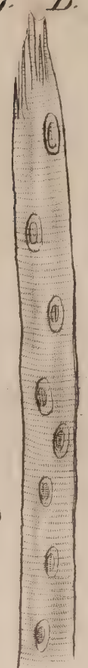


Fig. 7. C.

Fig. 4

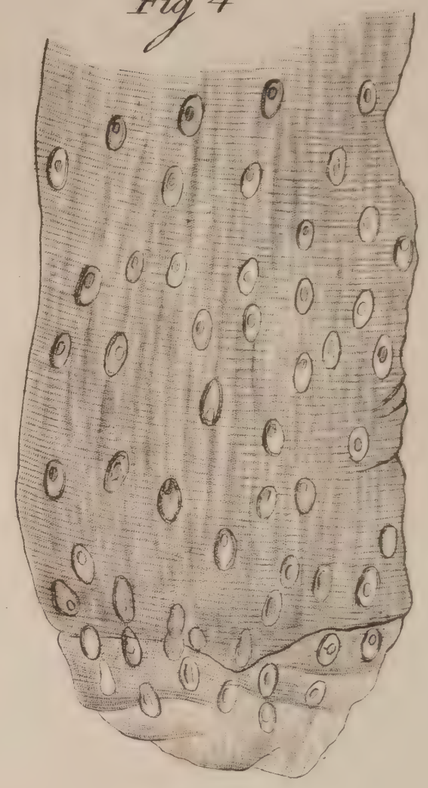


Fig. 7. D.

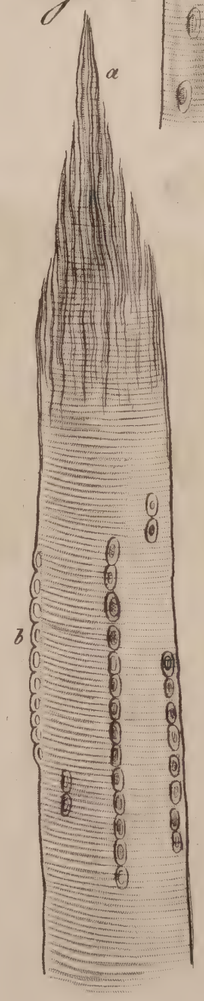


Fig. 7. A.

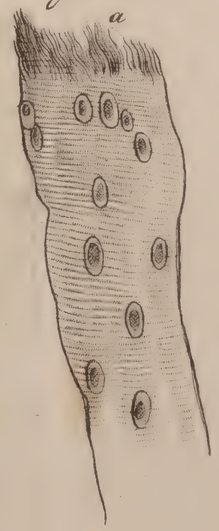
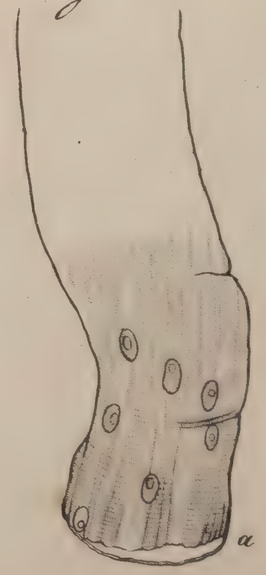


Fig. 5.



Aug. Weismann del.

Fig. 9.

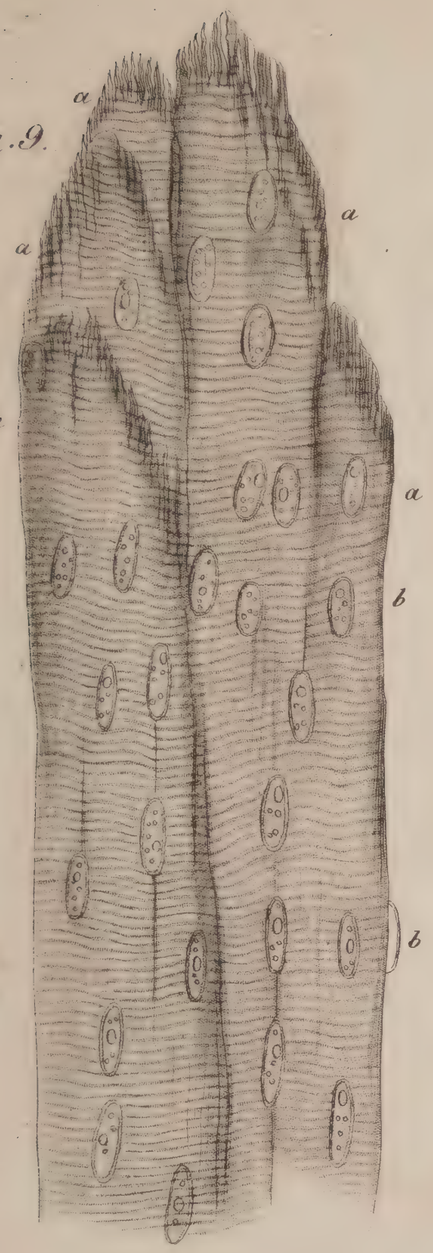


Fig. 10.

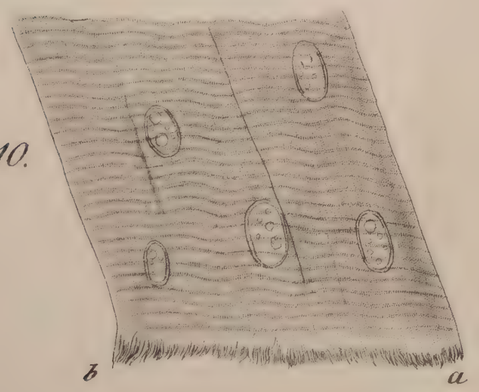


Fig. 11.

Fig. 11.

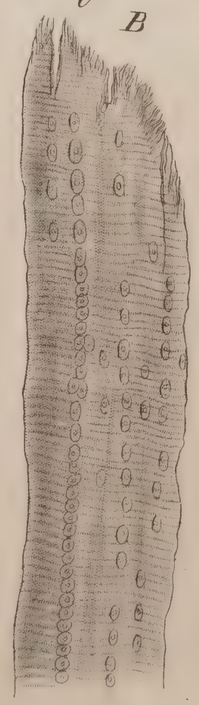
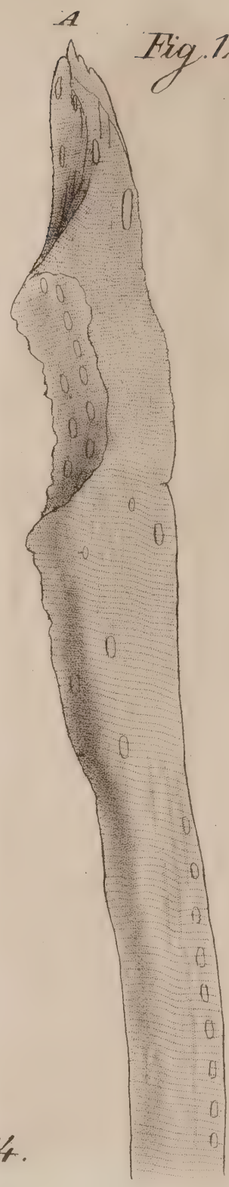


Fig. 12.



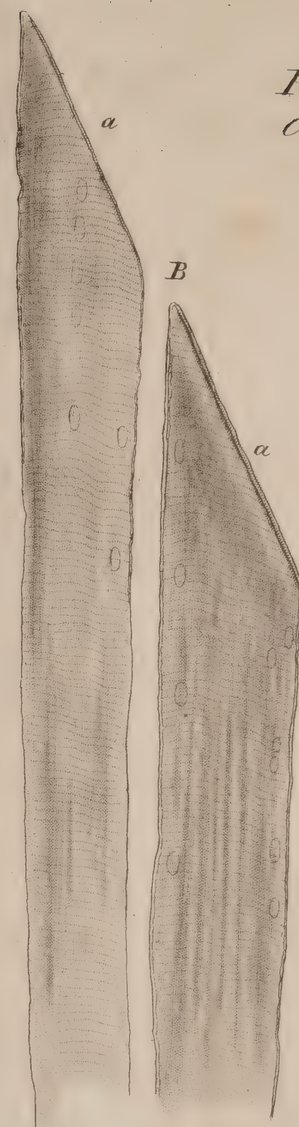


Fig. 13.

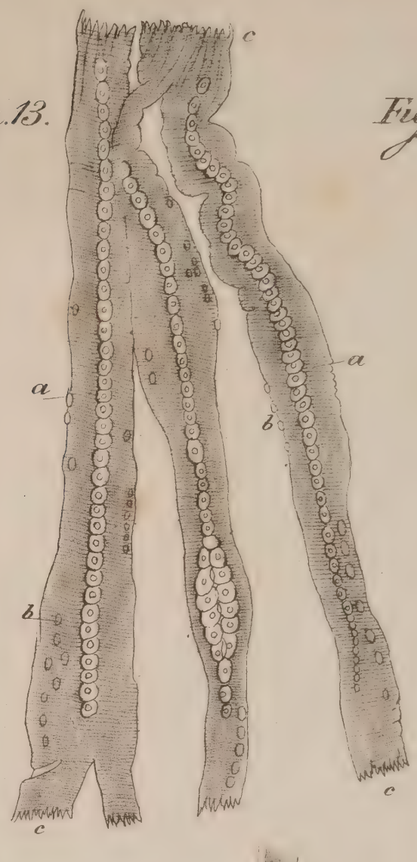
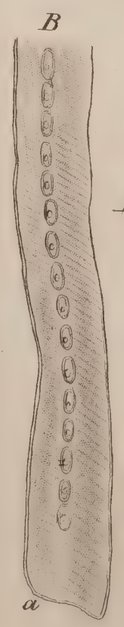


Fig. 14.

Fig. 14.



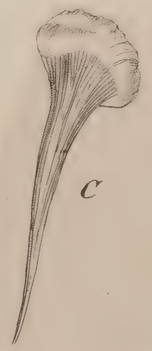


Fig. 14.

Fig. 15.

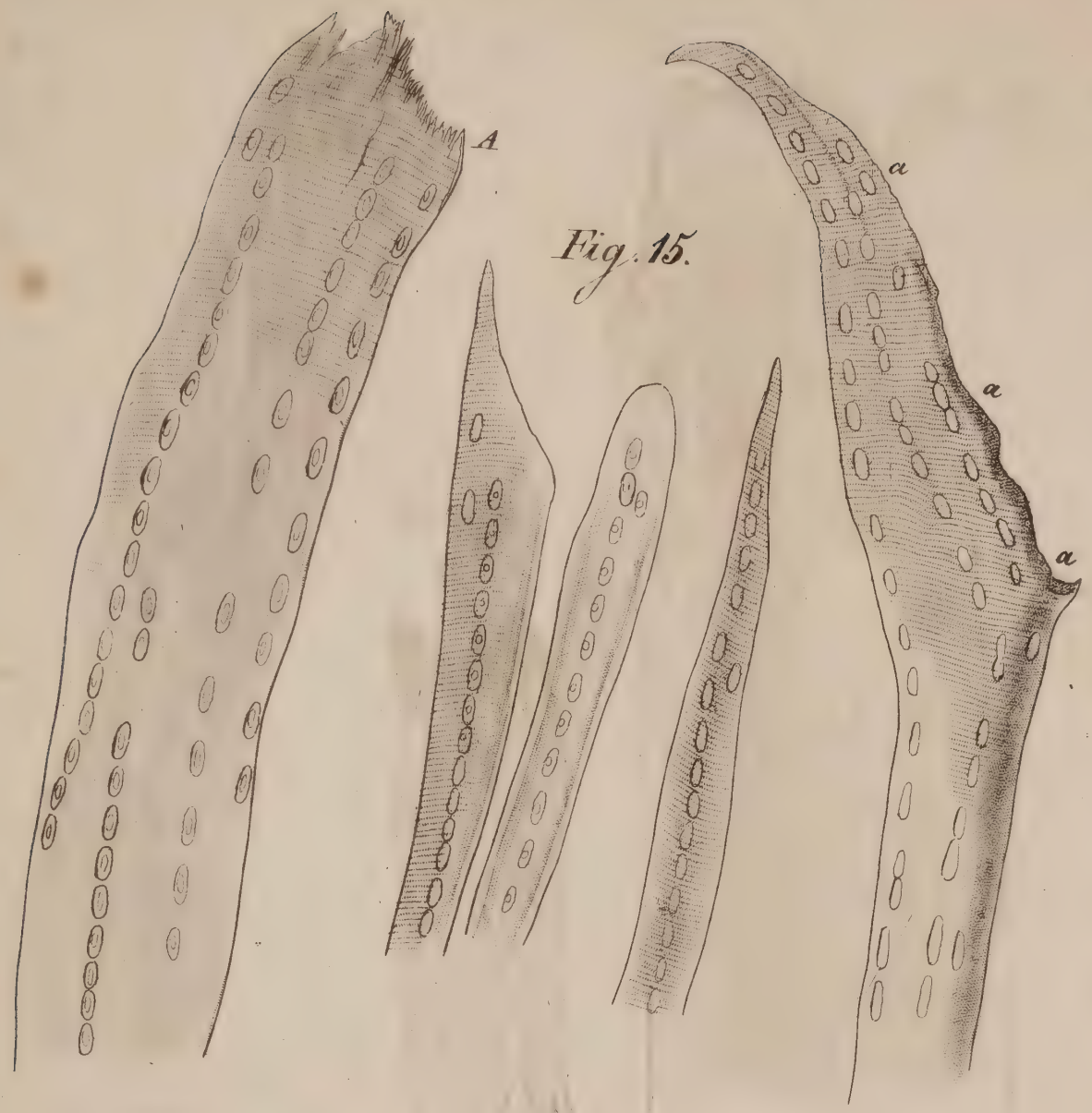


Fig. 16.

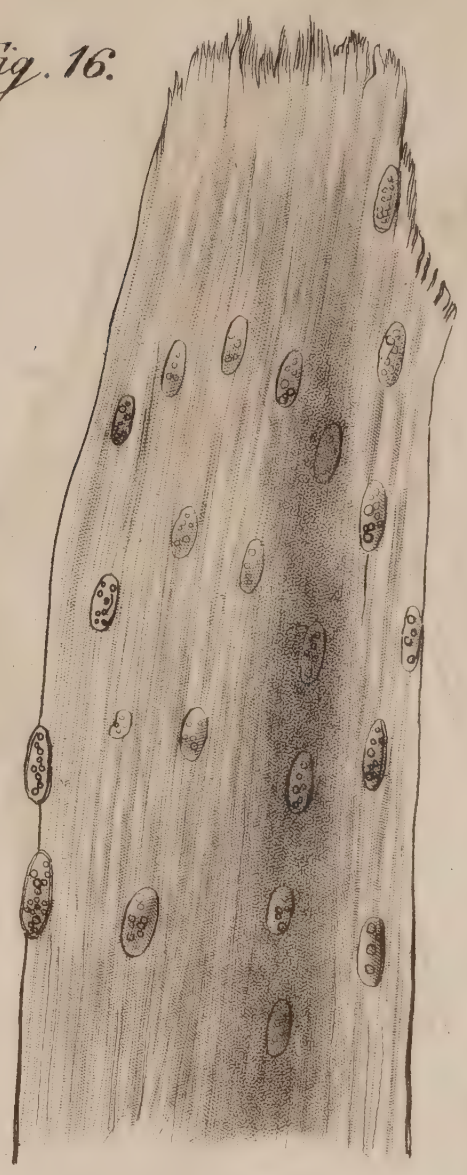


Fig. 19
B

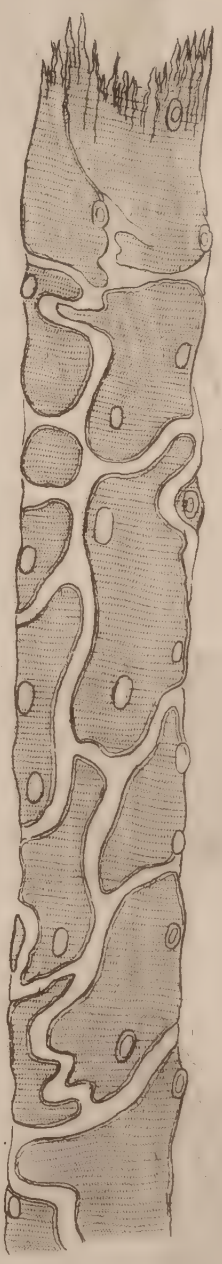


Fig. 20.

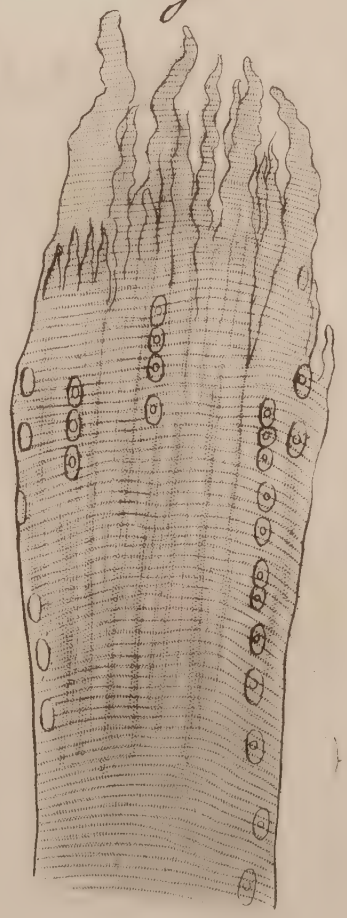


Fig. 18.

Fig. 19. A

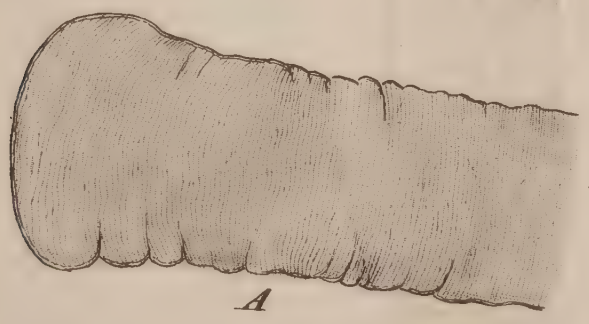


Fig. 17.

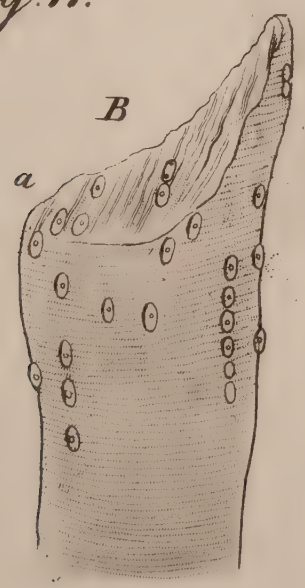


Fig. 1.

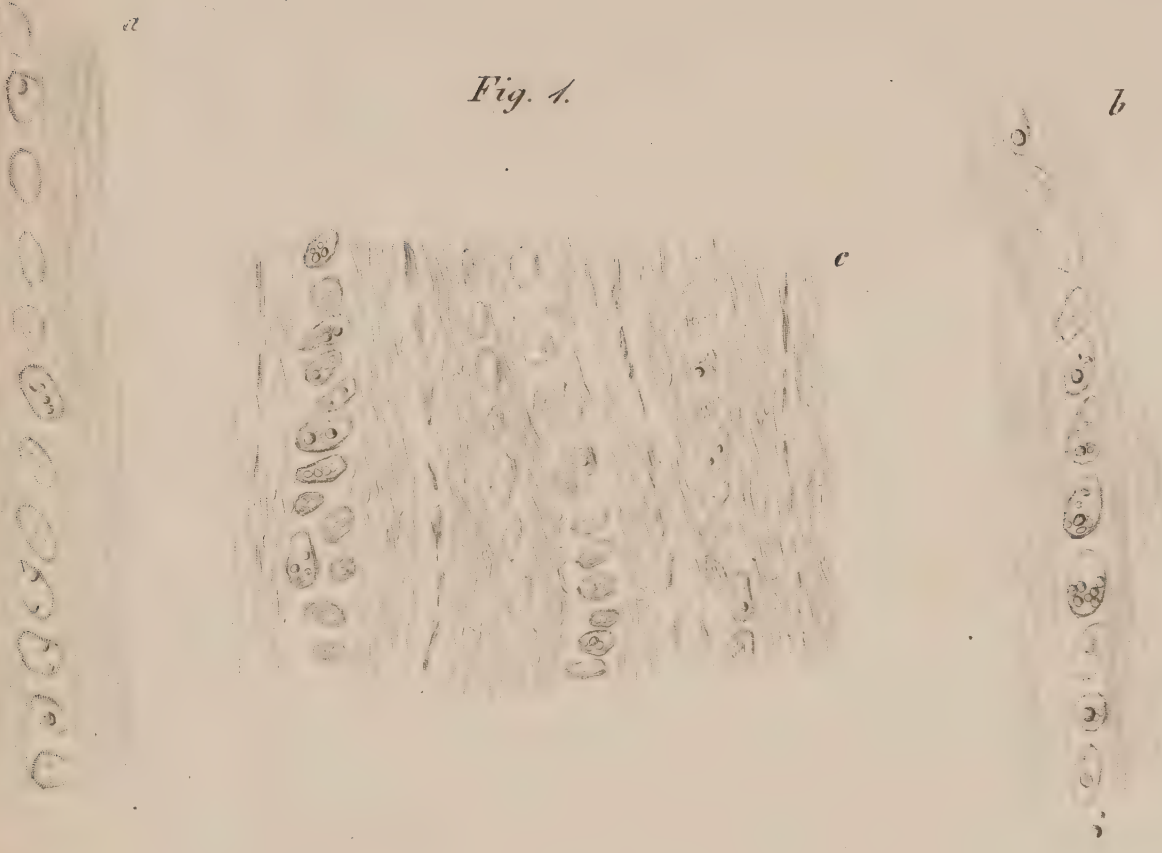
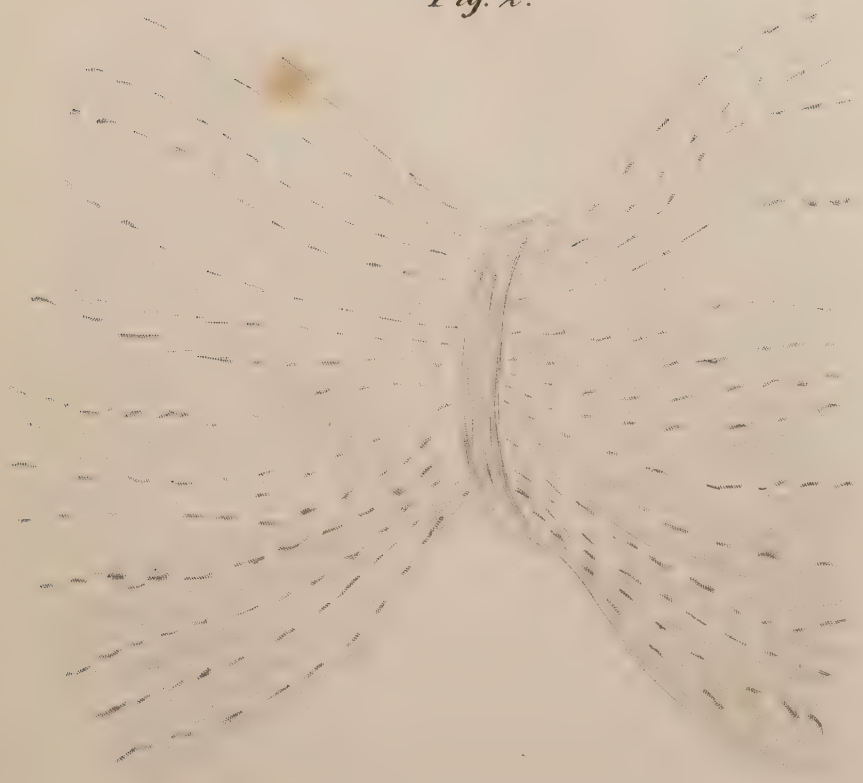


Fig. 2.



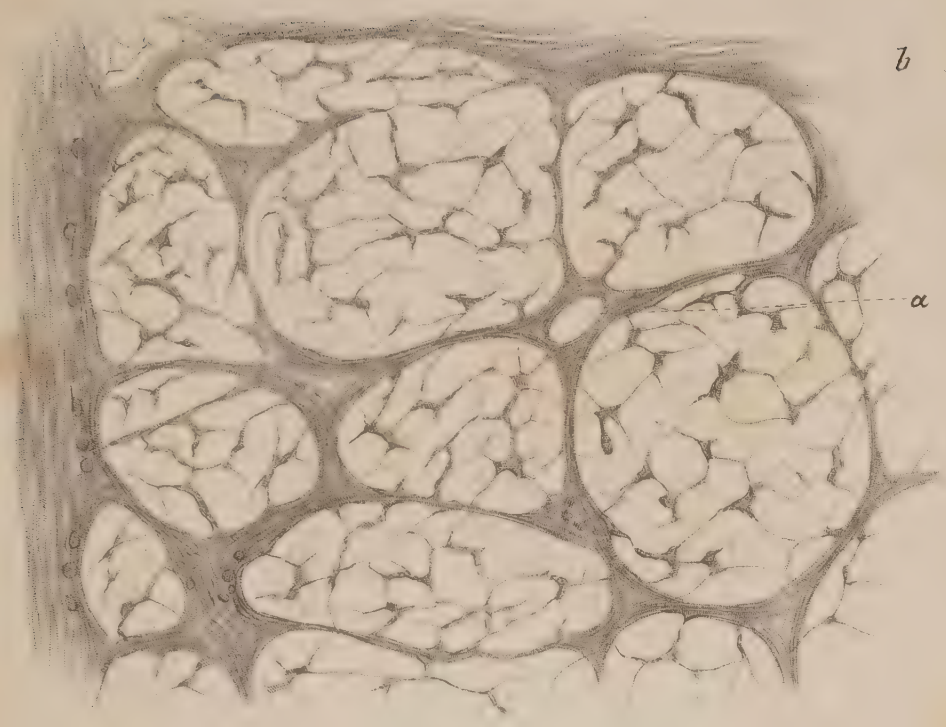


Fig. 3.

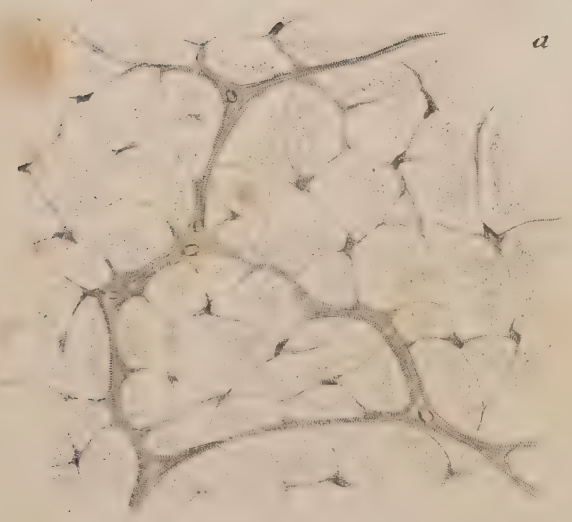


Fig. 7.

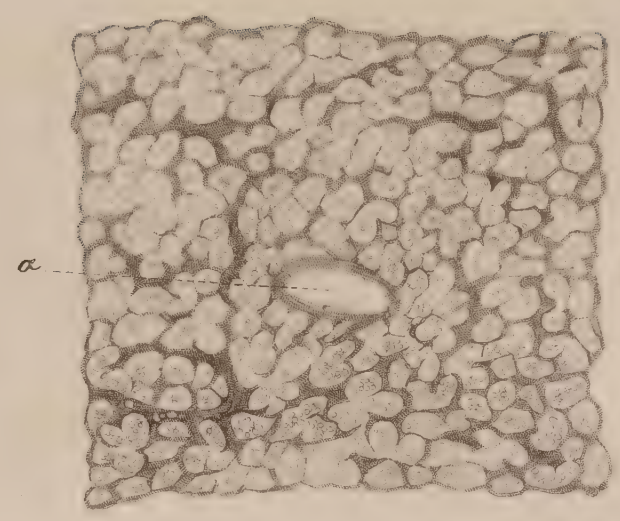


Fig. 5.

Fig. 6.

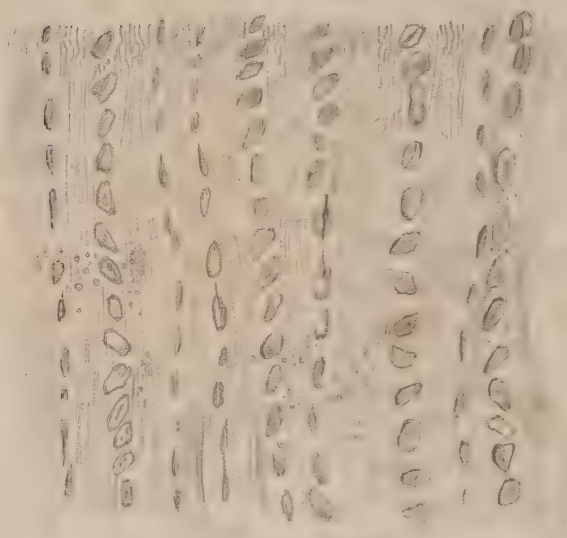


Fig. 4.